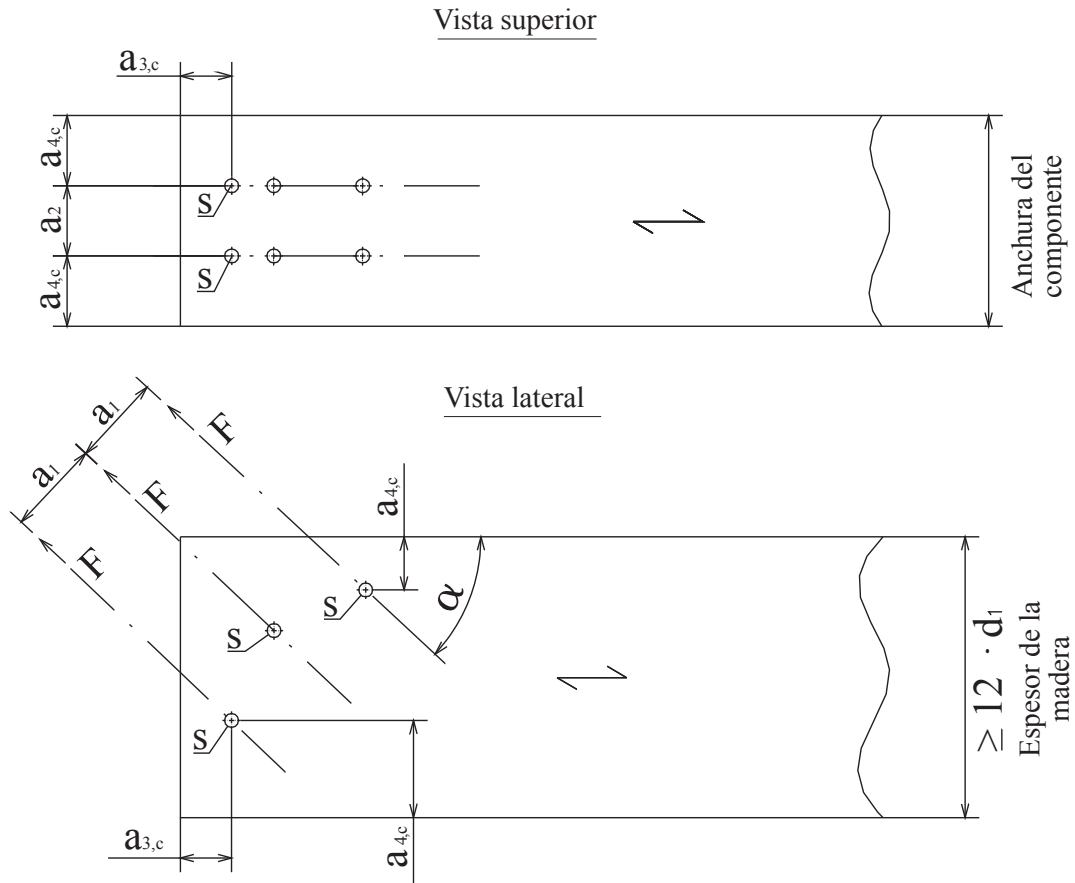


Anexo B Separaciones y distancias mínimas

Separaciones y distancias mínimas para tornillos SPAX con carga exclusivamente axial con punta CUT o 4CUT o con $d \leq 8$ mm en agujeros no perforados previamente en elementos de madera maciza, madera laminada encolada o productos encolados similares

Configuración simple



- \longleftarrow Dirección de la fibra
- - - Eje del tornillo
- S Centro de gravedad de la parte del tornillo dentro de la madera
- $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

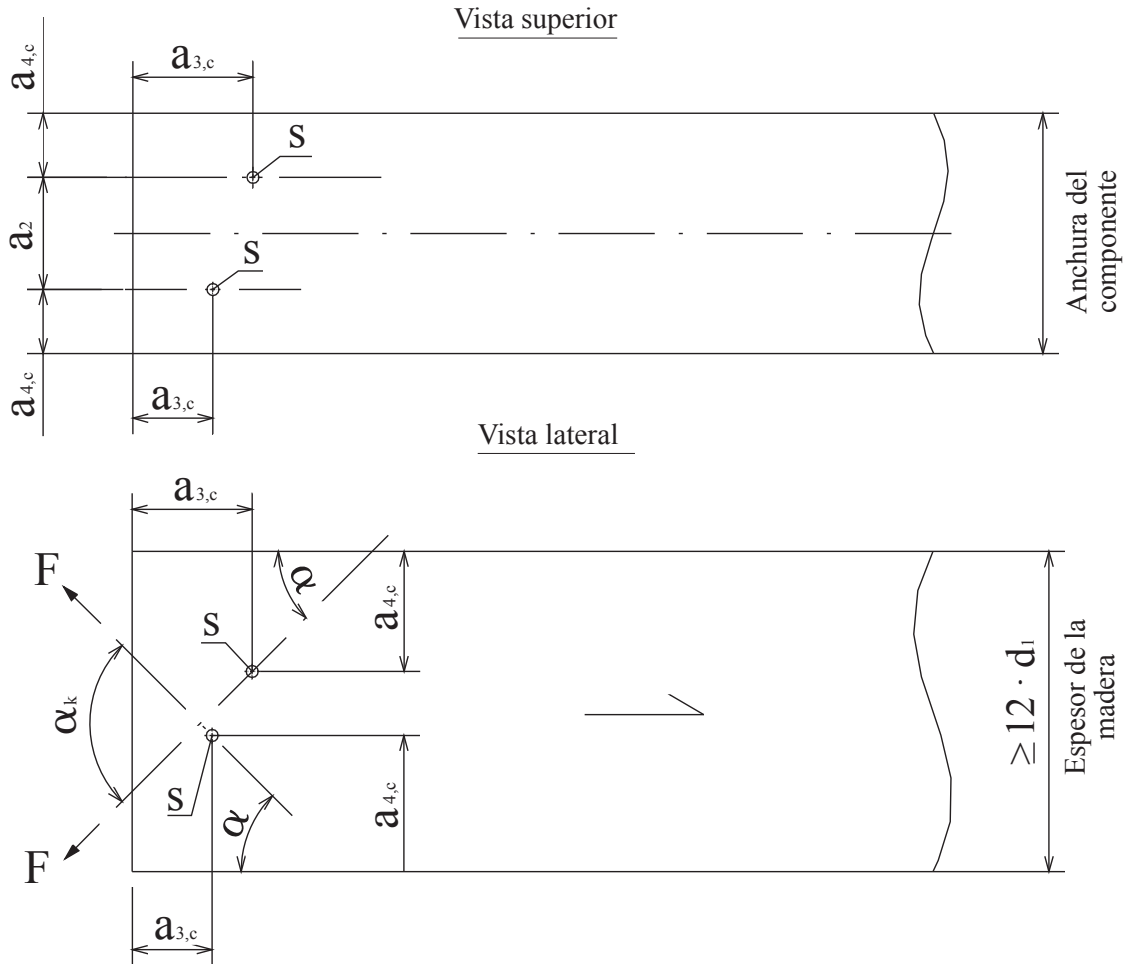
$$\begin{aligned}
 a_1 &\geq 5 \cdot d \\
 a_2 &\geq 2,5 \cdot d \\
 a_{3,c} &\geq 5 \cdot d \\
 a_{4,c} &\geq 4 \cdot d \\
 &\geq 3 \cdot d \quad \text{para tornillos con punta CUT o 4CUT} \\
 a_1 \cdot a_2 &\geq 25 \cdot d^2
 \end{aligned}$$

Para las separaciones y distancias mínimas, ver también el apartado 3.11

Espesor mínimo de la madera $t = 12 \cdot d$ para madera maciza o madera laminada encolada y $t = 6 \cdot d$ para madera laminada enchapada, ver también 3.11

Separaciones y distancias mínimas para tornillos SPAX con carga exclusivamente axial con punta CUT o 4CUT o con $d \leq 8$ mm en agujeros no perforados previamente en elementos de madera maciza, madera laminada encolada o productos encolados similares

Configuración en cruz



- \longleftarrow Dirección de la fibra
- - - Eje del tornillo
- S Centro de gravedad de la parte del tornillo dentro de la madera
- $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

$$\begin{aligned}
 a_1 &\geq 5 \cdot d \\
 a_2 &\geq 1,5 \cdot d && \text{para } 70^\circ < \alpha_k \leq 90^\circ \\
 &\geq 2,5 \cdot d \cdot (1 - \alpha_k / 180^\circ) && \text{para } 30^\circ \leq \alpha_k \leq 70^\circ \\
 a_{3,c} &\geq 5 \cdot d \\
 a_{4,c} &\geq 4 \cdot d \\
 &\geq 3 \cdot d && \text{para tornillos con punta CUT o 4CUT} \\
 a_1 \cdot a_2 &\geq 25 \cdot d^2
 \end{aligned}$$

Para las separaciones y distancias mínimas, ver también el apartado 3.11

Espesor mínimo de la madera $t = 12 \cdot d$ para madera maciza o madera laminada encolada y $t = 6 \cdot d$ para madera laminada enchapada, ver también 3.11

Vigas unidas mecánicamente

Tornillos SPAX con una rosca completa o varillas roscadas pueden utilizarse para uniones en elementos estructurales compuestos de varias partes en vigas o columnas unidas mecánicamente.

El módulo de deslizamiento axial K_{ser} de un tornillo o una varilla roscada con rosca completa para el estado límite de servicio en la dirección del tornillo debería considerarse, independientemente del ángulo α respecto a la fibra como:

$$C = K_{ser} = 25 \cdot d \cdot \ell_{ef} \text{ [N/mm]} \text{ para tornillos o varillas roscadas en madera blanda}$$

$$C = K_{ser} = 30 \cdot d \cdot \ell_{ef} \text{ [N/mm]} \text{ para tornillos en madera dura con perforación previa}$$

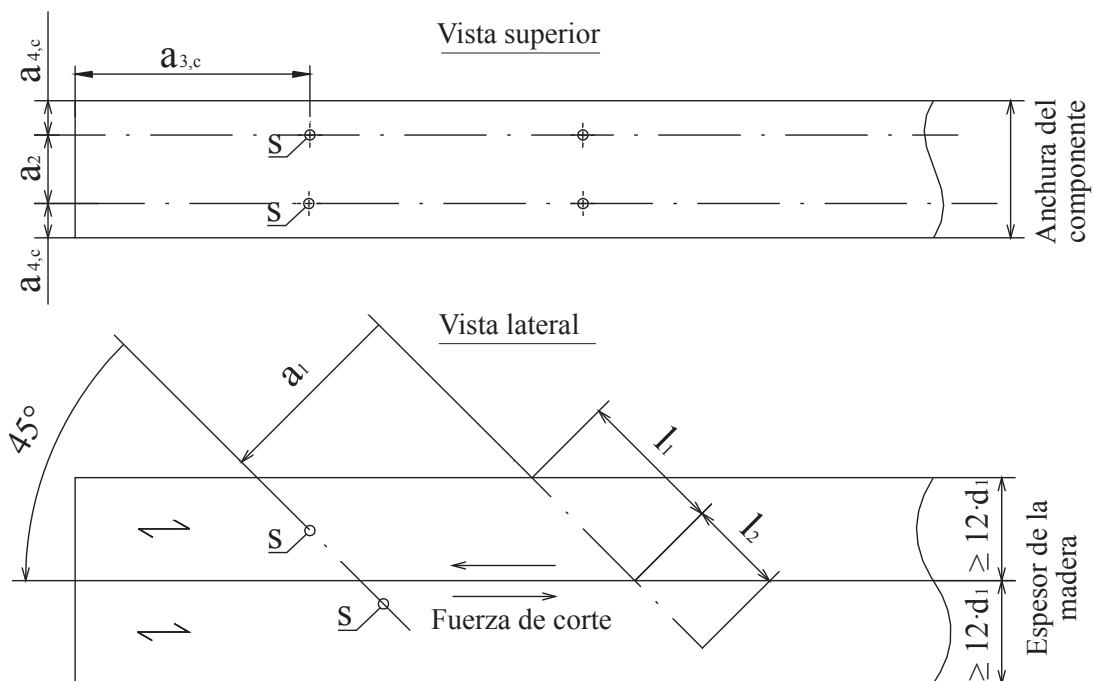
siendo,

d Diámetro exterior de la rosca [mm]

ℓ_{ef} Longitud de penetración en el elemento estructural correspondiente [mm], $\ell_{ef} = \ell_1$ o ℓ_2

Varillas roscadas o tornillos SPAX con carga axial en madera maciza, madera laminada encolada o madera laminada enchapada

Configuración simple



↔ Dirección de la fibra

--- Eje del tornillo

S Centro de gravedad de la parte del tornillo dentro de la madera

$$a_1 \geq 5 \cdot d$$

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

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

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

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

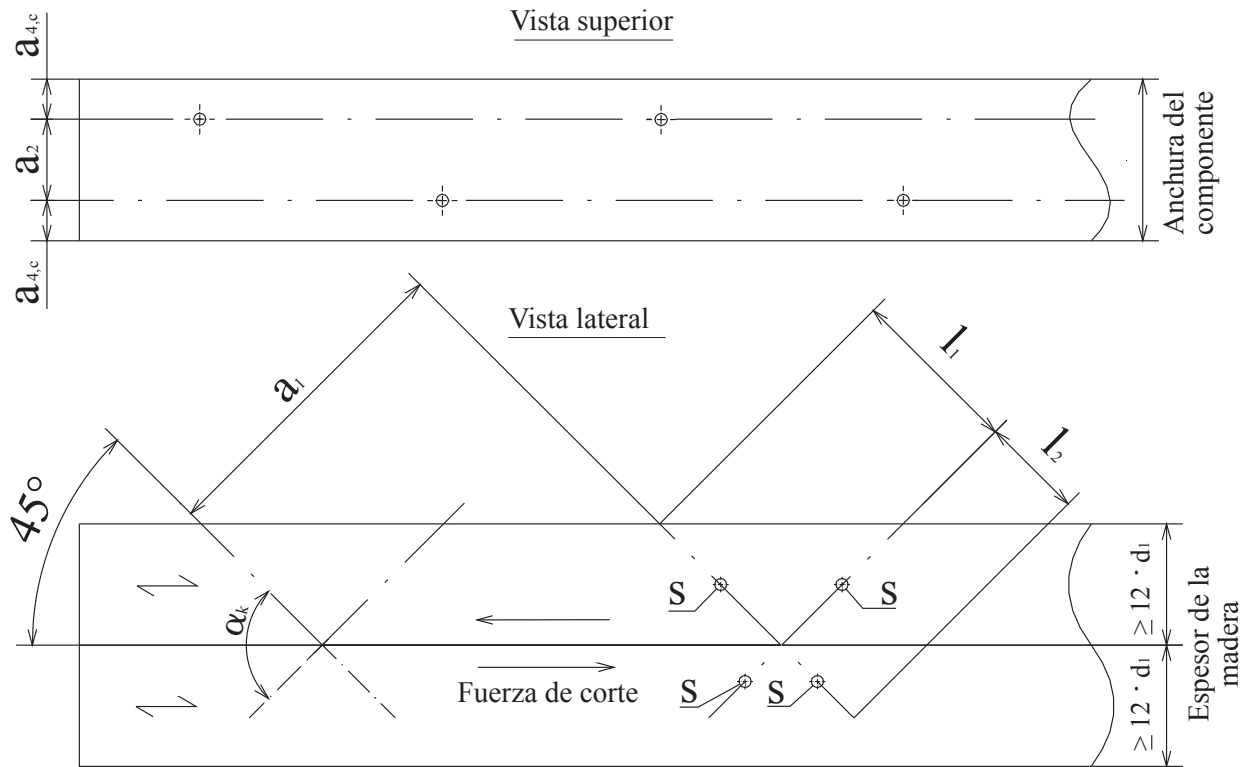
$$a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2$$

Para las separaciones y distancias mínimas, ver también el apartado 3.11

Espesor mínimo de la madera $t = 12 \cdot d$ para madera maciza o madera laminada encolada y $t = 6 \cdot d$ para madera laminada enchapada, ver también 3.11

Varillas roscadas o tornillos SPAX con carga axial en madera maciza, madera laminada encolada o madera laminada enchapada

Configuración en cruz



- \leftarrow Dirección de la fibra
- - - Eje del tornillo
- S Centro de gravedad de la parte del tornillo dentro de la madera

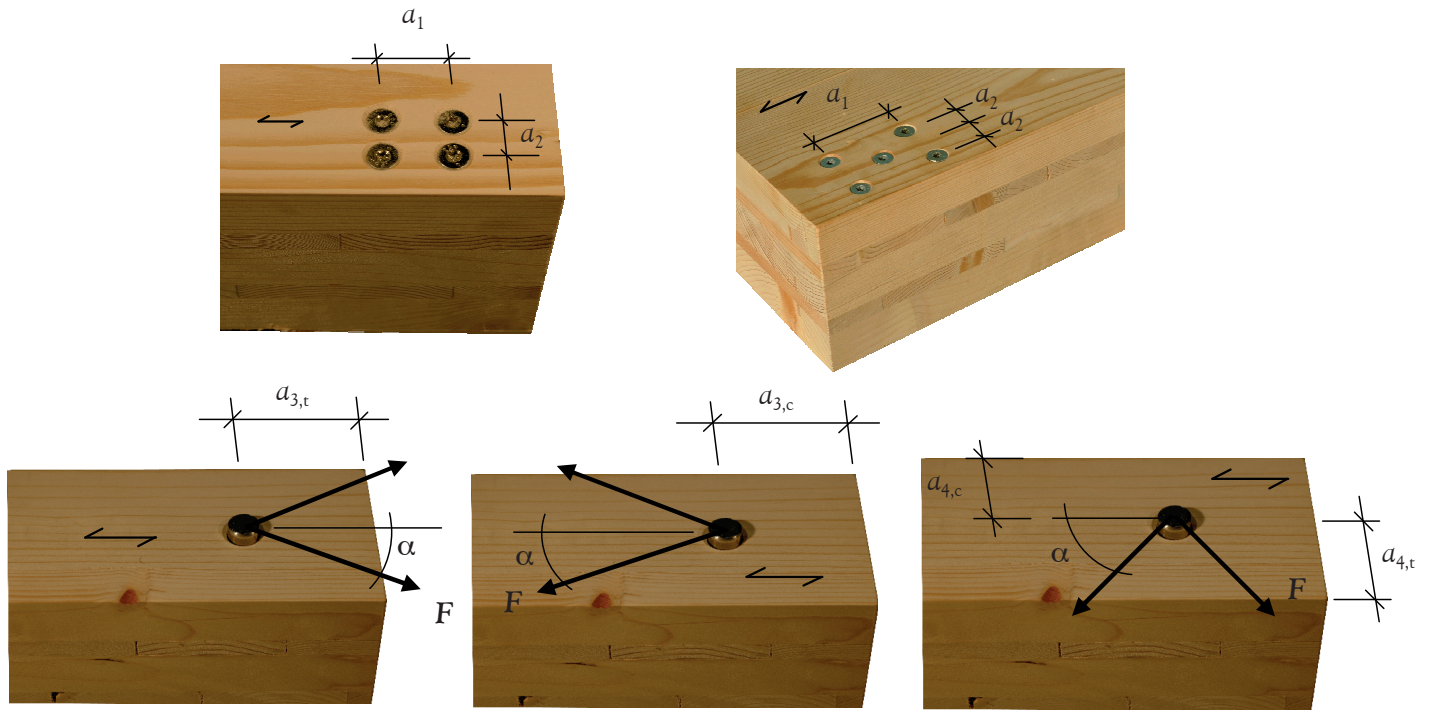
$$\begin{aligned}
 a_1 &\geq 5 \cdot d \\
 a_2 &\geq 2,5 \cdot d \quad (a_2 \geq 1,5 \cdot d \text{ entre los tornillos cruzados de un par de tornillos}) \\
 a_{3,c} &\geq 5 \cdot d \\
 a_{4,c} &\geq 4 \cdot d \\
 &\geq 3 \cdot d \quad \text{para tornillos con punta CUT o 4CUT} \\
 a_1 \cdot a_2 &\geq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

Para las separaciones y distancias mínimas, ver también el apartado 3.11

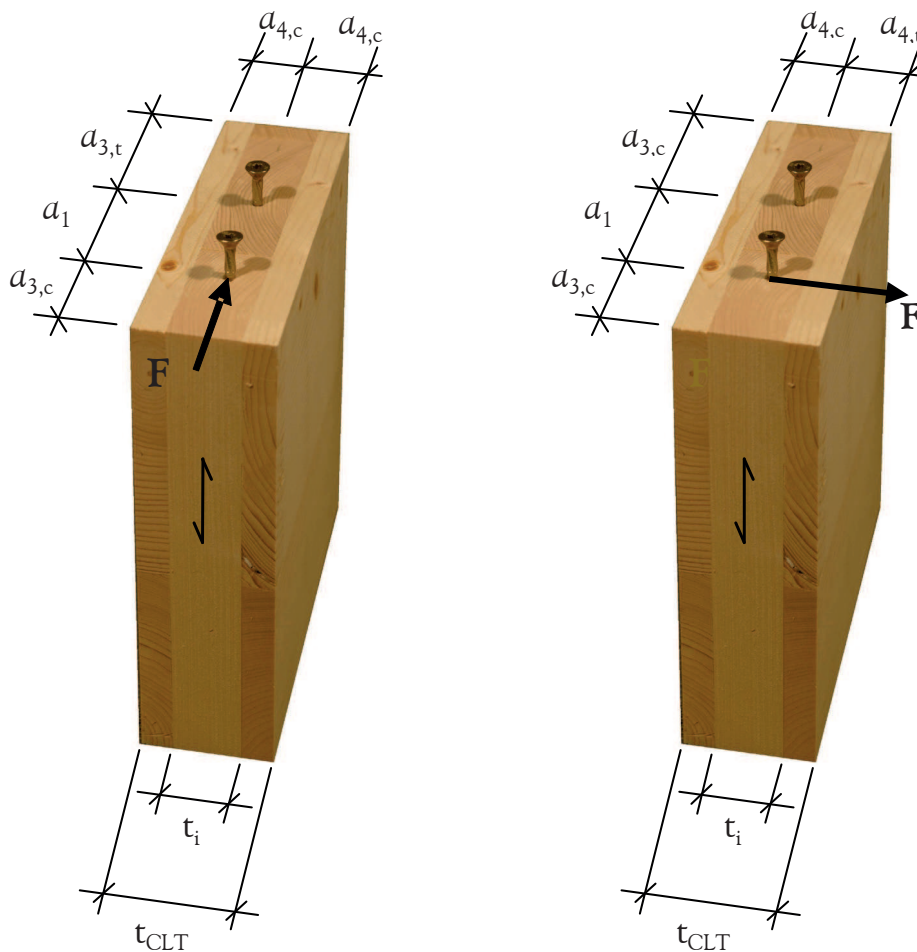
Espesor mínimo de la madera $t = 12 \cdot d$ para madera maciza o madera laminada encolada y $t = 6 \cdot d$ para madera laminada enchapada, ver también 3.11

Tornillos con carga axial o lateral en la superficie plana o del canto de madera contralaminada

Definición de separación, distancias al extremo y al canto en la superficie plana a menos que se indique lo contrario en la especificación técnica (ETA o hEN) para la madera contralaminada:



Definición de separación, distancias al extremo y al canto en la superficie del borde a menos que se indique lo contrario en la especificación técnica (ETA o hEN) para la madera contralaminada:



Anexo C Refuerzo a la compresión

Los tornillos SPAX o varillas roscadas con rosca completa pueden utilizarse para reforzar los elementos de madera con esfuerzos de compresión en un ángulo respecto a la fibra de $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. La fuerza de compresión debe estar distribuida uniformemente sobre todos los tornillos. Debe instalarse una placa de acero como placa intermedia entre el elemento de madera y el soporte. Los tornillos deben insertarse en el elemento de madera al mismo nivel que la superficie para que haya contacto directo con la placa de acero y entre la placa de acero y la madera.

La capacidad de carga característica para un área de contacto con tornillos con rosca completa en un ángulo α respecto a la fibra de $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ debe calcularse a partir de:

$$F_{90,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_{c,90} \cdot B \cdot \ell_{ef,1} \cdot f_{c,90,d} + n \cdot F_{ax,Rd} \\ B \cdot \ell_{ef,2} \cdot f_{c,90,d} \end{array} \right. \quad (C.1)$$

siendo,

- $F_{90,Rd}$ Capacidad de carga de diseño del área de contacto reforzada [N]
- $k_{c,90}$ Factor para compresión perpendicular respecto a la fibra conforme a EN 1995-1-1
- B Anchura del apoyo [mm]
- $\ell_{ef,1}$ Longitud efectiva del área de contacto conforme a EN 1995-1-1 [mm]
- $f_{c,90,d}$ Longitud de compresión de diseño perpendicular respecto a la fibra [N/mm²]
- n Número de tornillos de refuerzo, $n = n_0 \cdot n_{90}$
- n_0 Número de tornillos de refuerzo dispuestos en una fila en paralelo a la fibra
- n_{90} Número de tornillos de refuerzo dispuestos en una fila en perpendicular a la fibra
- $F_{ax,Rd}$ Capacidad de compresión de diseño [N], ver página 7
- $\ell_{ef,2}$ Longitud de distribución efectiva en el plano de las puntas del tornillo [mm]
- $\ell_{ef,2} = \ell_{ef} + (n_0 - 1) \cdot a_1 + \min(\ell_{ef}, a_{3,c})$ para apoyos del extremo [mm]
- $\ell_{ef,2} = 2 \cdot \ell_{ef} + (n_0 - 1) \cdot a_1$ para apoyos centrales [mm]
- ℓ_{ef} Longitud de penetración de la punta [mm]
- a_1 Separación en paralelo a la fibra [mm]
- $a_{3,c}$ Distancia al extremo [mm]

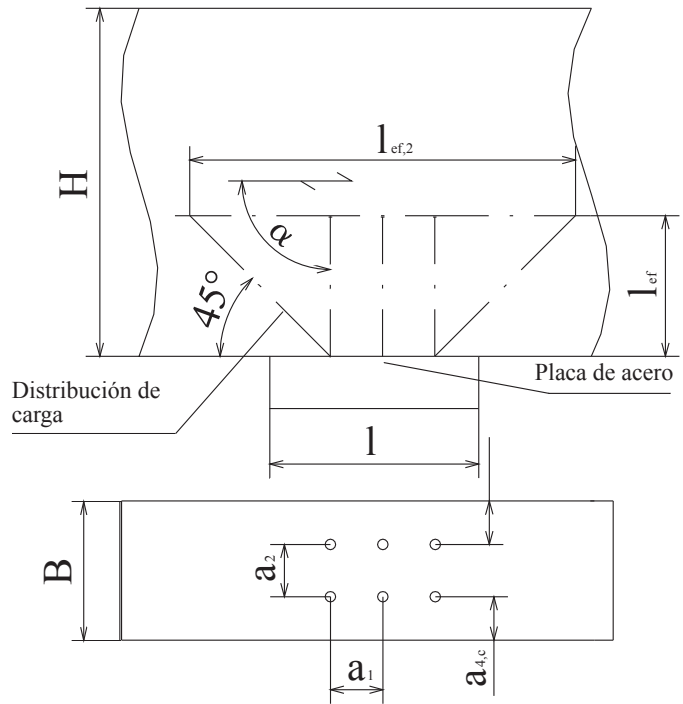
Si los tornillos se insertan en el elemento desde la parte superior e inferior y los tornillos se solapan al menos $10 \cdot d$, es decir, $\ell_{ef,top} + \ell_{ef,bottom} \geq H + 10 \cdot d$, puede descartarse la segunda condición de la ecuación (C.1).

Esta Evaluación Técnica Europea no hace referencia a tornillos de refuerzo o varillas roscadas para paneles a base de madera.

Apoyo central reforzado

- H Altura del componente [mm]
 B Anchura del apoyo [mm]
 ℓ_{ef} Longitud de penetración de la punta [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

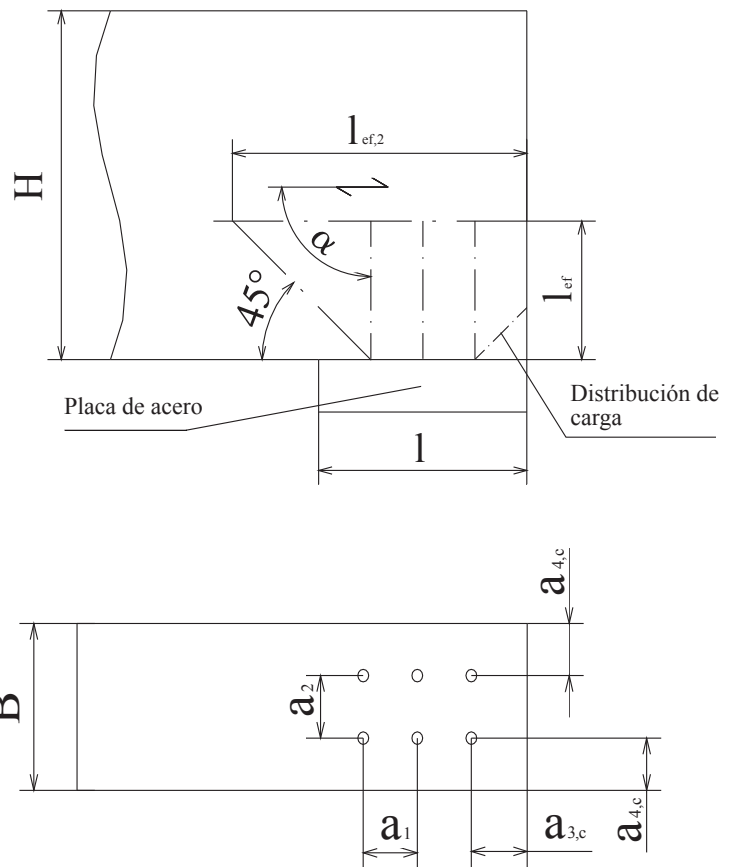
↔ Dirección de la fibra
 - - - Eje del tornillo
 $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$



Apoyo del extremo reforzado

- H Altura del componente [mm]
 B Anchura del apoyo [mm]
 ℓ_{ef} Longitud de penetración de la punta [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 del extremo

↔ Dirección de la fibra
 - - - 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
 $a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2$

Las cabezas de los tornillos deben estar al mismo nivel que la superficie del elemento estructural de madera.

Anexo D Refuerzo a la tracción perpendicular a la fibra

A menos que se especifique de otro modo en disposiciones nacionales vigentes en el lugar de la instalación, la capacidad axial de un refuerzo de un elemento de madera cargado por una fuerza de unión perpendicular a la fibra debe cumplir la siguiente condición:

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

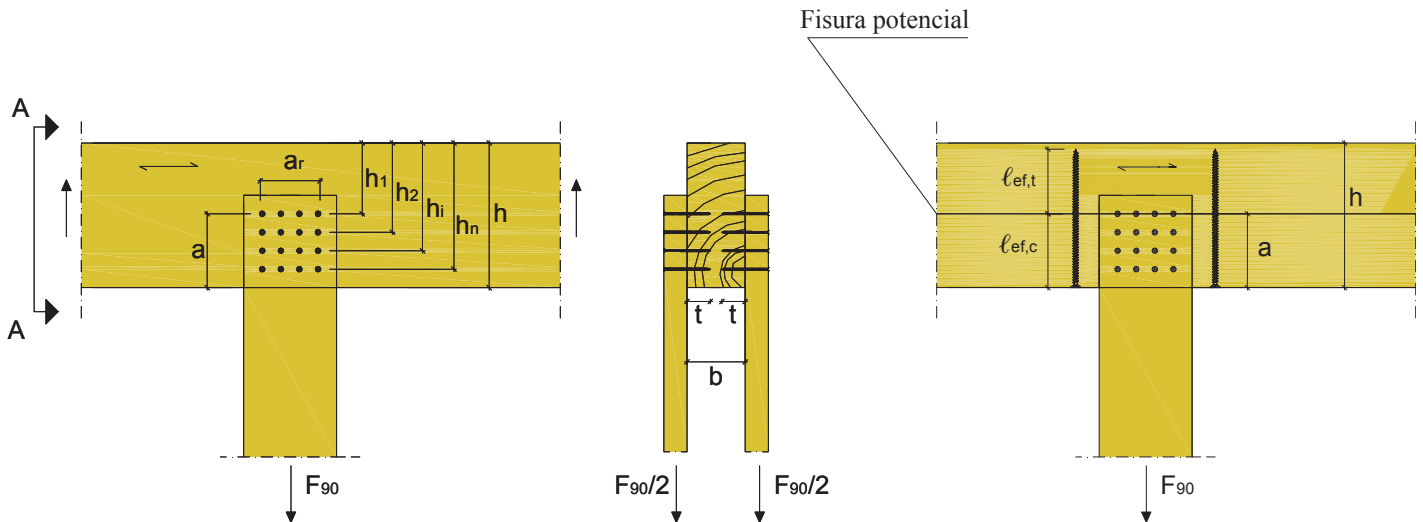
siendo,

$F_{90,d}$ Valor de diseño del componente de fuerza perpendicular respecto a la fibra [N],

$\alpha = a/h$

h = profundidad del elemento [mm]

$F_{ax,Rd}$ Mínimo de los valores de diseño de la capacidad de arranque y la capacidad de tracción de los tornillos de refuerzo o las varillas roscadas, donde ℓ_{ef} es el valor más bajo de la profundidad de penetración por debajo o por encima de la fisura potencial [N]



A menos que se especifique de otro modo en las disposiciones nacionales vigentes en el lugar de la instalación, la capacidad axial de un refuerzo de un soporte de viga entallada debe cumplir la siguiente condición:

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

siendo,

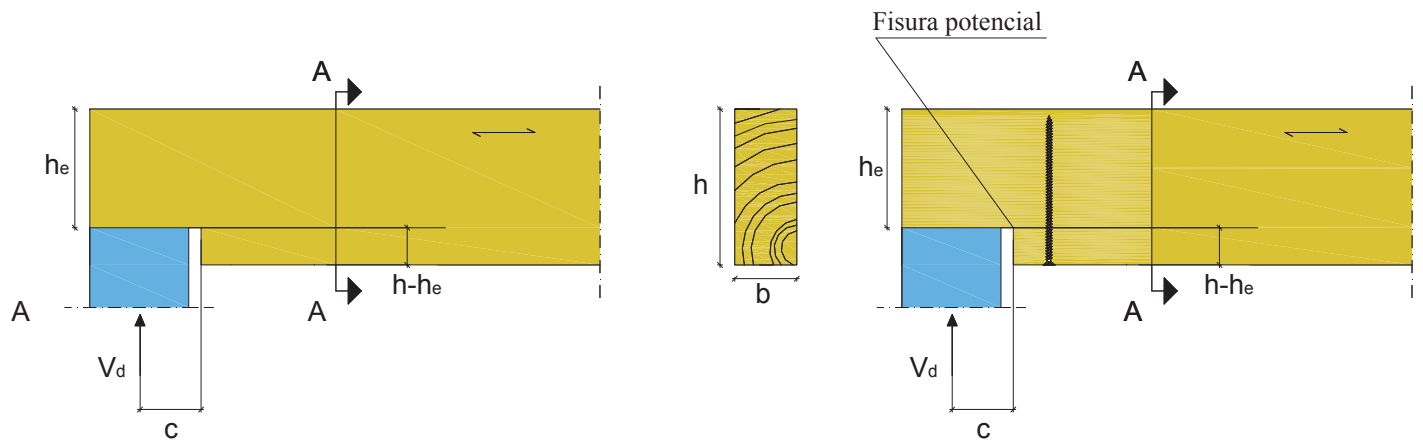
V_d Valor de diseño de la fuerza de corte [N],

$\alpha = h_e/h$

h = profundidad del elemento [mm]

$F_{ax,Rd}$ Mínimo de los valores de diseño de la capacidad de arranque y la capacidad de tracción de los tornillos de refuerzo o las varillas roscadas, donde ℓ_{ef} es el valor más bajo de la profundidad de penetración por debajo o por encima de la fisura potencial [N]

La separación mínima a_2 de las varillas roscadas utilizadas como refuerzo de un soporte de viga entallada es $a_2 = 3 \cdot d$, la distancia mínima al extremo o al canto es $a_{3,c} = 2,5 \cdot d$ o $a_{4,c} = 2,5 \cdot d$.



A menos que se especifique de otro modo en las disposiciones nacionales vigentes en el lugar de la instalación, la capacidad axial de un refuerzo de un agujero en una viga entallada debe cumplir la siguiente condición:

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

siendo,

$F_{t,V,d}$ Valor de diseño de la fuerza perpendicular respecto a la fibra debido a la fuerza de corte [N]:

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

V_d Valor de diseño de la fuerza de corte del elemento en el extremo del agujero [N],

h = profundidad del elemento [mm]

h_d = Profundidad de agujero para agujeros rectangulares [mm]

h_d = 70 % del diámetro de agujero para agujeros circulares [mm]

$F_{t,M,d}$ Valor de diseño de la fuerza perpendicular respecto a la fibra debido al momento de flexión [N]:

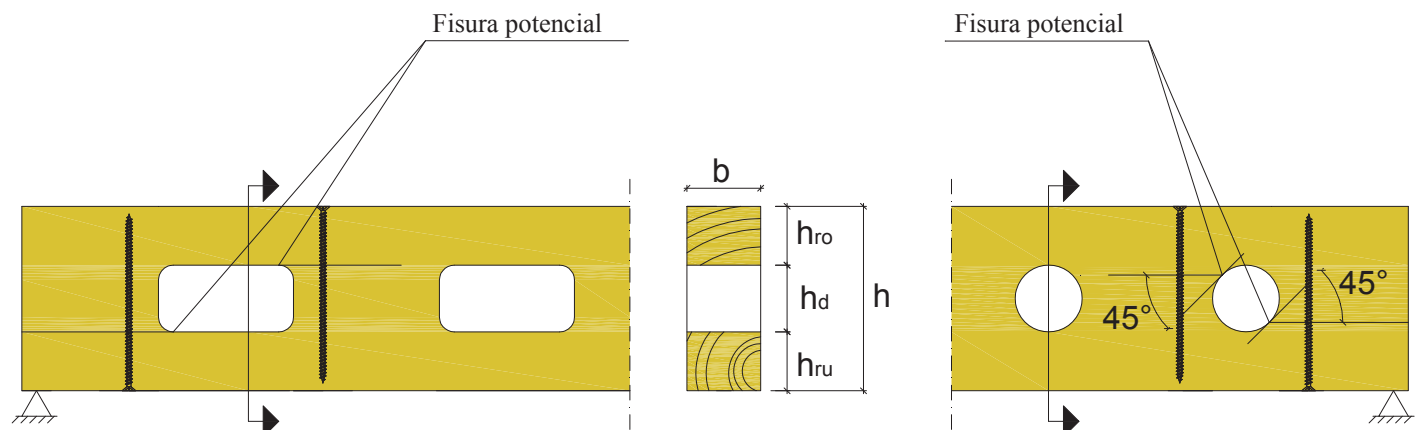
$$F_{t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r}$$

M_d Valor de diseño del momento de flexión del elemento en el extremo del agujero [Nmm],

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

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

$F_{ax,Rd}$ Mínimo de los valores de diseño de la capacidad de arranque y la capacidad de tracción de los tornillos de refuerzo o las varillas roscadas, donde ℓ_{ef} es el valor más bajo de la profundidad de penetración por debajo o por encima de la fisura potencial [N].



Además del refuerzo con tornillos, es necesario verificar la fuerza de corte del elemento de madera alrededor del agujero.

Anexo E Refuerzo a cortante

A menos que se especifique de otro modo en las disposiciones nacionales vigentes en el lugar de la instalación, el esfuerzo de corte en áreas reforzadas de elementos de madera con un componente de esfuerzo paralelo a la fibra, debe cumplir la siguiente condición:

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

Dabei ist:

τ_d es el esfuerzo de corte de diseño sin tener en cuenta el refuerzo [N/mm²];

$f_{v,d}$ es la fuerza de corte de diseño [N/mm²];

$k_\tau = 1 - 0,46 \cdot \sigma_{90,d} - 0,052 \cdot \sigma_{90,d}^2$

$\sigma_{90,d}$ es el esfuerzo de diseño perpendicular a la fibra (valor negativo para compresión) [N/mm²];

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

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

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

V_d es la fuerza de corte de diseño [N];

G es el módulo de corte del elemento de madera, $G = 650$ [N/mm²],

b es la anchura del elemento de madera [mm],

d es el diámetro exterior de la rosca [mm] (d_1 en los dibujos del anexo),

h es la profundidad del elemento de madera [mm],

k_{ax} es la rigidez de unión entre la varilla o el tornillo y el elemento de madera [N/mm³],

$k_{ax} = 5$ N/mm³ para varillas roscadas $d = 16$ mm, $k_{ax} = 12,5$ N/mm³ para tornillos autorroscantes $d = 8$ mm,

a_1 es la separación paralela a la fibra de las varillas o tornillos dispuestos en una fila [mm], para n filas paralelas puede utilizarse una separación efectiva de $a_{1,ef} = a_1/n$,

EA_s es la rigidez axial de una varilla o tornillo [N],

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

d_2 es el diámetro interior de la rosca de la varilla o tornillo [mm]

$d_2 = 12$ mm para varillas roscadas $d = 16$ mm, $d_2 = 5$ mm para tornillos $d = 8$ mm.

La capacidad axial de una varilla roscada o tornillo debe cumplir 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 arranque y capacidad de tracción de las varillas o tornillos de refuerzo. La longitud de penetración efectiva es 50 % de la longitud roscada [N].

Fuera de las áreas reforzadas (área sombreada en la figura E.1), el diseño de corte debe cumplir las condiciones para elementos no reforzados.

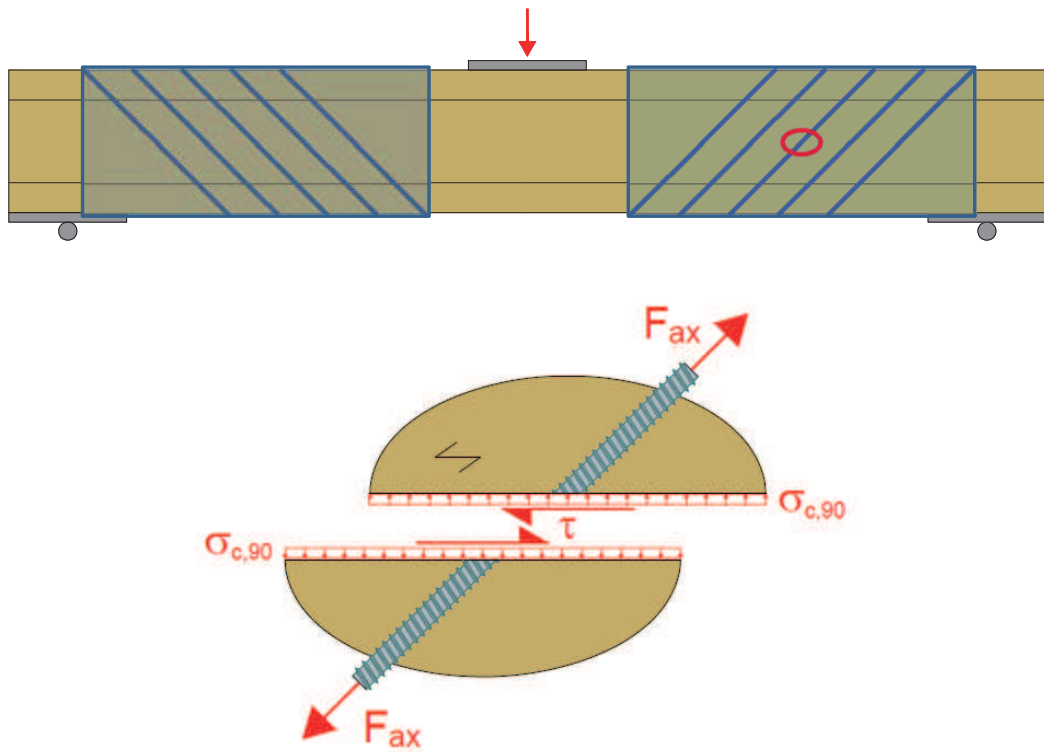


Figura E.1: Elemento de madera con refuerzo cortante; áreas sombreadas: áreas reforzadas con tornillos dispuestos a menos de 45°

Anexo F

Material de aislamiento térmico sobre los cabrios

Los tornillos SPAX con un diámetro exterior de rosca de $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$ pueden utilizarse para fijar el material de aislamiento térmico en la parte superior de los cabrios.

El espesor del aislamiento no debe exceder los 400 mm. El aislamiento del cabrio debe estar colocado en la parte superior de madera maciza o cabrios de madera laminada encolada o elementos de madera contralaminada y fijarse mediante listones dispuestos en paralelo a los cabrios o en paneles a base de madera sobre la capa de aislamiento. Las normas indicadas aquí también hacen referencia al aislamiento de las fachadas verticales.

Los tornillos deben estar atornillados en el cabrio atravesando los listones o paneles y el aislamiento sin perforación previa en una secuencia.

El ángulo α entre el eje del tornillo y la dirección de la fibra del cabrio debería estar entre 30° y 90° .

El cabrio está formado por madera maciza (madera blanda) conforme a EN 338, madera laminada encolada conforme a EN 14081, madera contralaminada, o madera laminada enchapada conforme a EN 14374 o a la Evaluación Técnica Europea o elementos encolados similares de acuerdo con la Evaluación Técnica Europea y tiene una anchura mínima de 60 mm.

Los listones deben de ser de madera maciza (madera blanda) conforme a EN 338:2003-04. El espesor mínimo t y la anchura mínima b de los listones se calcula como sigue:

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

Alternativamente a los listones, pueden utilizarse paneles con un espesor mínimo de 20 mm de madera contrachapada, conforme a EN 636, paneles de madera prensada conforme a EN 312, tableros de virutas orientadas OSB/3 y OSB/4 conforme a EN 300 o Evaluación Técnica Europea y paneles de madera maciza conforme a 13353. Esto sólo se aplica el sistema con tornillos inclinados en paralelo.

El aislamiento debe cumplir los requisitos de la Evaluación Técnica Europea.

Las fuerzas de fricción no deben tenerse en cuenta para el diseño de la capacidad axial característica de los tornillos.

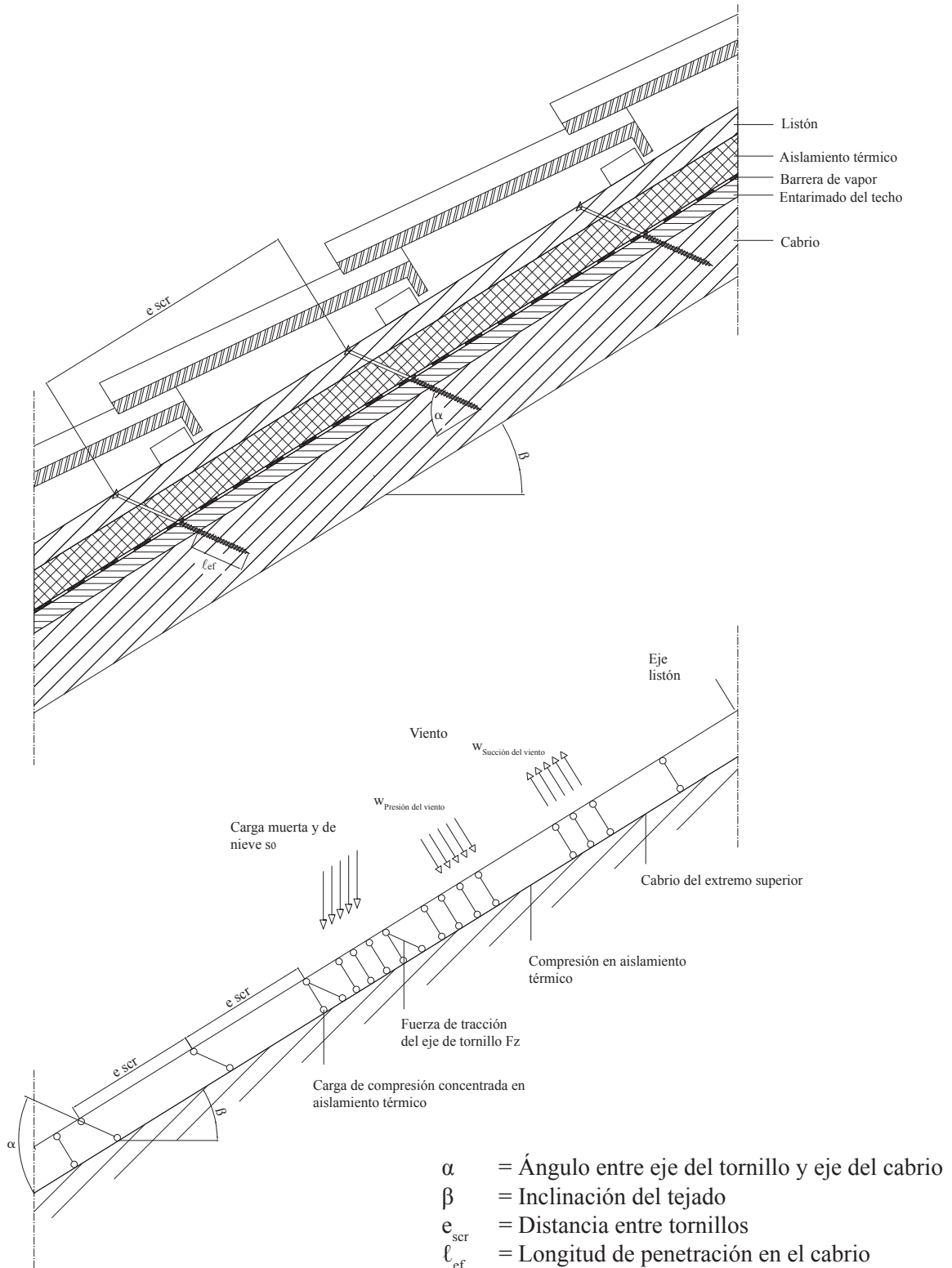
En el diseño debe tenerse en cuenta el anclaje de las fuerzas de succión del viento así como los esfuerzos de flexión de los listones o paneles, respectivamente. En caso necesario deben colocarse tornillos adicionales en perpendicular a la fibra del cabrio (ángulo $\alpha = 90^\circ$).

La separación máxima entre tornillos es de $e_{\text{Ser}} = 1,75 \text{ m}$.

Material de aislamiento térmico en cabrios con tornillos inclinados en paralelo

Modelo mecánico

El sistema de cabrios, material de aislamiento térmico en la parte superior de los mismos y listones en paralelo a los cabrios, puede considerarse como una viga sobre una fundación elástica. El listón representa la viga y el material de aislamiento térmico sobre la viga, la base elástica. El esfuerzo de compresión mínimo del material de aislamiento térmico a un 10 % de deformación, medido conforme a EN 826¹, debería ser $\sigma_{(10\%)} = 0,05 \text{ N/mm}^2$. El listón está cargado en perpendicular al eje por cargas puntuales F_b . Otras cargas puntuales F_s provienen de la carga de corte del techo debido a la carga muerta y la carga de nieve que se transfiere de las cabezas de los tornillos a los listones.



¹ EN 826:1996 Productos de aislamiento térmico para edificios - Determinación del comportamiento de compresión

Diseño de los listones

Los esfuerzos de flexión se calculan así:

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

siendo,

ℓ_{char} = Longitud característica

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

EI = Rigidez de flexión del listón [Nmm²]

K = Coeficiente de subgrado [N/mm³]

w_{ef} = Anchura efectiva del material de aislamiento térmico [mm]

F_b = Cargas puntuales perpendiculares a los listones [N]

F_s = Cargas puntuales perpendiculares a los listones, aplicación de carga en el área de las cabezas de los tornillos [N]

El coeficiente de subgrado K puede calcularse a partir del módulo de elasticidad E_{HI} y el espesor t_{HI} del material de aislamiento térmico si se conoce la anchura efectiva w_{ef} del material de aislamiento térmico bajo compresión. Debido a la extensión de la carga en el material de aislamiento térmico, la anchura efectiva w_{ef} es superior a la anchura del listón o cabrio, respectivamente. Para más cálculos, la anchura efectiva w_{ef} del material de aislamiento térmico debe determinarse conforme a:

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

siendo,

w = anchura mínima del listón o cabrio, respectivamente [mm]

t_{HI} = espesor del material de aislamiento térmico [mm]

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

Debe satisfacerse la siguiente condición:

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

Para el cálculo del módulo de sección W, debe tenerse en cuenta la sección transversal neta.

Los esfuerzos de corte deben calcularse conforme a:

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

Debe satisfacerse la siguiente condición:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,5 \cdot V_d}{A \cdot f_{v,d}} \leq 1$$

Para el cálculo del área de sección transversal, debe tenerse en cuenta la sección transversal neta.

Diseño del material de aislamiento térmico

Los esfuerzos de compresión en el material de aislamiento térmico deben calcularse de acuerdo con:

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

El valor de diseño del esfuerzo de compresión no debe ser superior al 110 % del esfuerzo de compresión a 10 % de deformación calculado conforme a EN 826.

Diseño de los tornillos

La carga sobre los tornillos es principalmente axial. La fuerza de tensión axial en el tornillo debe calcularse a partir de las cargas de corte del techo R_s :

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

La capacidad de carga de los tornillos cargados axialmente es el valor de diseño mínimo de la capacidad de arranque axial de la parte roscada del tornillo, la capacidad de extracción de la cabeza del tornillo y la capacidad de tracción del tornillo. Para limitar la deformación de la cabeza del tornillo para espesores del material de aislamiento térmico superiores a 200 mm o con fuerza de compresión por debajo de 0,12 N/mm², respectivamente, la capacidad axial de arranque del tornillo debe reducirse por los factores k_1 y k_2 :

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

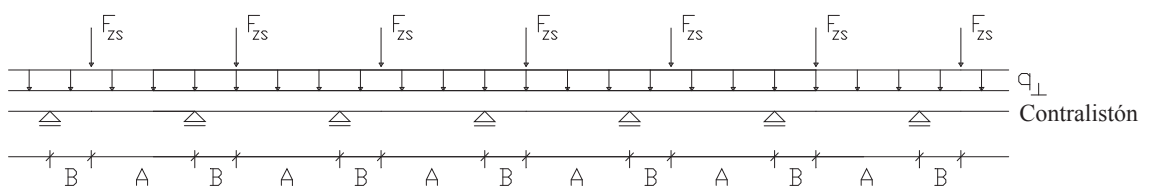
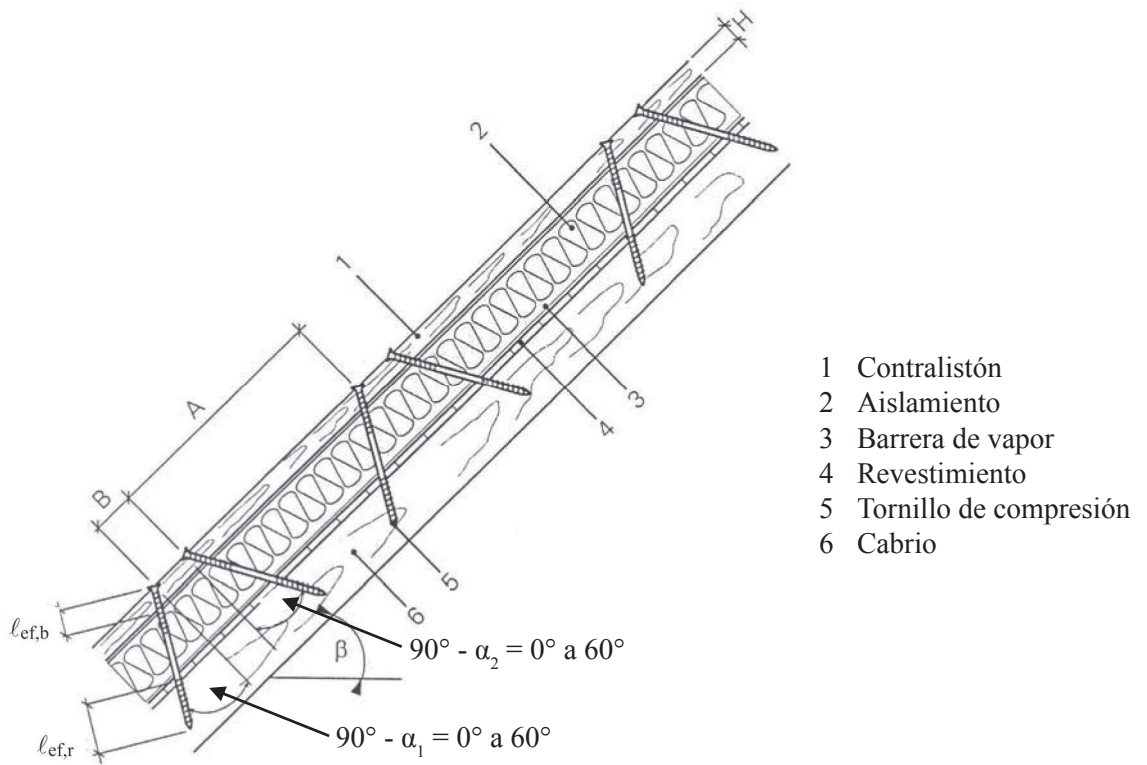
$$F_{ax,\alpha,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ef} \cdot k_1 \cdot k_2}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8} \\ \max \left\{ f_{head,d} \cdot d_h^2; \frac{f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ef,b} \cdot k_1 \cdot k_2}{1,2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

Dabei ist:

- $f_{ax,d}$ Valor de diseño del parámetro de arranque característico de la parte roscada del tornillo [N/mm²]
- d Diámetro exterior de la rosca del tornillo [mm] (d_i en los dibujos del anexo)
- ℓ_{ef} Longitud de penetración de la punta de la parte roscada del tornillo en el listón [mm], $\ell_{ef} \geq 40$ mm
- $\ell_{ef,b}$ Longitud de penetración de la parte roscada del tornillo en el listón [mm]
- α Ángulo entre la fibra y el eje del tornillo [°] ($\alpha \geq 30^\circ$)
- ρ_k Densidad característica del elemento a base de madera [kg/m³]
- $f_{head,d}$ Valor de diseño de la capacidad de extracción de la cabeza del tornillo [N/mm²]
- d_h Diámetro de la cabeza [mm] (d_k en los dibujos del anexo)
- $f_{tens,k}$ Capacidad de tracción característica del tornillo [N]
- γ_{M2} Factor parcial conforme a EN 1993-1-1 o al anexo nacional particular
- k_1 $\min \{1; 200/t_{HI}\}$
- k_2 $\min \{1; \sigma_{10\%}/0,12\}$
- t_{HI} Espesor del material de aislamiento térmico [mm]
- $\sigma_{10\%}$ Esfuerzo de compresión del material de aislamiento térmico por debajo de 10 % de deformación [N/mm²]

Si se tienen en cuenta las ecuaciones k_1 y k_2 , no es necesario tener en cuenta la deflexión de los listones. Alternativamente a los listones, puede utilizarse paneles con un espesor mínimo de 20 mm en madera contrachapada conforme a EN 636 o una ETA o disposiciones nacionales vigentes en el lugar de la instalación, paneles de madera prensada conforme a EN 312 o a una ETA o disposiciones nacionales vigentes en el lugar de la instalación, paneles de virutas orientadas antes del proceso de prensado conforme a EN 300 o una ETA o disposiciones nacionales vigentes en el lugar de la instalación, y paneles de madera maciza conforme a EN 13353 o una ETA o disposiciones nacionales vigentes en el lugar de la instalación, o madera contralaminada conforme a una ETA.

Material de aislamiento térmico en cabrios con tornillos alternativamente inclinados



Modelo mecánico

Dependiendo de la separación entre tornillos y la disposición de los tornillos de tracción y de compresión con diferentes inclinaciones, los listones están cargados con momentos de flexión importantes. Los momentos de flexión se extraen en base a los siguientes supuestos:

- Las cargas de tracción y compresión en los tornillos se determinan en función de las condiciones de equilibrio de las acciones en paralelo y en perpendicular al plano del techo.
Estas acciones son líneas de carga constantes q_{\perp} y q_{\parallel} .
- Los tornillos actúan como columnas articuladas soportadas 10 mm dentro del listón o cabrio, respectivamente. Consecuentemente, la longitud efectiva de la columna es igual a la longitud del tornillo entre el listón y el cabrio más 20 mm.
- El listón se considera una viga continua con una distancia entre apoyos constante $\ell = A + B$.
Los tornillos de compresión constituyen los soportes de la viga continua mientras que los tornillos de tracción transfieren cargas concentradas en perpendicular al eje del listón.

Los tornillos están cargados principalmente en el arranque o la compresión, respectivamente. Las fuerzas normales de los tornillos se determinan en base a las cargas paralelas y perpendiculares al plano del techo:

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

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

Los momentos de flexión en el listón resultan de la carga de línea constante q_{\perp} y los componentes de carga en perpendicular al listón resultan de los tornillos de tracción. La envergadura de la viga continua es (A + B). El componente de carga perpendicular al listón desde el tornillo de tracción es:

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

Dabei ist:

- q_{\parallel} Carga de línea constante en paralelo al listón [N/mm]
- q_{\perp} Carga de línea constante en perpendicular al listón [N/mm]
- α_1 Ángulo entre el eje de compresión del tornillo y la dirección de la fibra [°]
- α_2 Ángulo entre el eje del tornillo de tracción y la dirección de la fibra [°]

Un valor positivo para F_{ZS} significa una carga hacia el cabrio, un valor negativo una carga que se aleja del cabrio.

Diseño de los tornillos

La capacidad de carga de los tornillos debe calcularse como se indica a continuación:

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 de la capacidad de arranque axial de la parte roscada del tornillo [N/mm²]
- d Diámetro exterior de la rosca del tornillo [mm] (d_1 en los dibujos del anexo)
- $\ell_{ef,b}$ Longitud de la parte roscada en el listón, incluida la cabeza para la fuerza de tracción y excluida la cabeza para la fuerza de compresión [mm]
- $\ell_{ef,r}$ Longitud de penetración de la parte roscada del tornillo en el cabrio [mm], $\ell_{ef} \geq 40$ mm
- $\rho_{b,k}$ Densidad característica del listón [kg/m³]
- $\rho_{r,k}$ Densidad característica del cabrio [kg/m³]
- α Ángulo α_1 o α_2 entre el eje del tornillo y la dirección de la fibra, $30^{\circ} \leq \alpha_1 \leq 90^{\circ}$, $30^{\circ} \leq \alpha_2 \leq 90^{\circ}$
- $f_{tens,k}$ Capacidad de tracción característica del tornillo [N]
- γ_{M1}, γ_{M2} Factor parcial conforme a EN 1993-1-1 o al anexo nacional particular
- $\kappa_c \cdot N_{pl,k}$ Capacidad de deformación por pandeo del tornillo [N]