

4. UNIONES SOLDADAS

4.1. COMPROBACIÓN DE LA UNIÓN

4.1.1. Tipos de uniones soldadas.

Las uniones soldadas se pueden clasificar según la posición relativa de las chapas soldadas:

- uniones a tope (en prolongación)
- uniones a tope en T
- uniones por solape

Dentro de cada tipo, en función de la penetración de la soldadura con respecto al espesor de las chapas unidas, se distinguen en el caso más usual (cordones alargados):

- soldaduras en ángulo; en ellas no se realiza ningún tipo de preparación en los bordes de la pieza a unir antes de soldar y la penetración del cordón se debe exclusivamente a la fusión que se genera durante el proceso.
- en uniones a tope antes de soldar se realiza preparación de bordes en las piezas para favorecer la penetración del cordón (en las de poco espesor no es necesaria) y podemos distinguir:
 - de penetración completa, cuando la fusión y mezcla entre el material base y el de aportación alcanza a todo el espesor de la unión
 - de penetración parcial, si esta fusión y mezcla no alcanza a todo el espesor

estos tipos definidos por la geometría, se pueden combinar de la forma indicada en la tabla siguiente. Tanto las disposiciones constructivas como los criterios de cálculo se establecen de forma diferente para los distintos cordones de esta clasificación.

En la tabla siguiente se clasifican las uniones más utilizadas usualmente:

Tipo de soldadura	Tipo de unión		
	Unión a tope	Unión a tope en T	Unión de solape
Soldadura en ángulo			
Soldadura de ojal (o en ranura)			
Soldadura a tope con penetración completa.	<p>Sencilla en V</p> <p>En doble V</p> <p>Sencilla en U</p> <p>En doble U</p>		
Soldadura a tope con penetración parcial	<p>En doble V</p> <p>En doble U</p>	<p>En chaflán doble</p>	

Tabla 4 - Tipos comunes de uniones soldadas

4.1.2. Resistencia de un cordón de soldadura

Todas las normas de cálculo suponen implícita o explícitamente que:

- Se observan las reglas de buena práctica.
- Las características mecánico-resistentes del metal de aportación son, como mínimo, iguales a las del metal de base.
- Se ha evitado, mediante la oportuna elección del material y de los detalles constructivos adecuados, el peligro de rotura frágil.

De acuerdo con la segunda de estas hipótesis, las uniones a tope con penetración completa no necesitan ser calculadas, ya que al tener el metal de aportación una sección igual o mayor que la del metal de base y mayor, o al menos, igual límite elástico y carga de rotura, es evidente que su capacidad portante será superior (en uniones sometidas a cargas dinámicas sí que es preciso comprobarlas).

En los cordones en ángulo se define como plano de garganta A, figura 6, el determinado por la línea intersección de los dos planos a unir y por la altura del mayor triángulo isósceles inscriptible en la sección del cordón; a esta altura se le denomina ancho de garganta o espesor de garganta, o simplemente garganta, a , del cordón.

En dicha figura también se representan las tensiones que pueden solicitar un cordón de soldadura en ángulo.

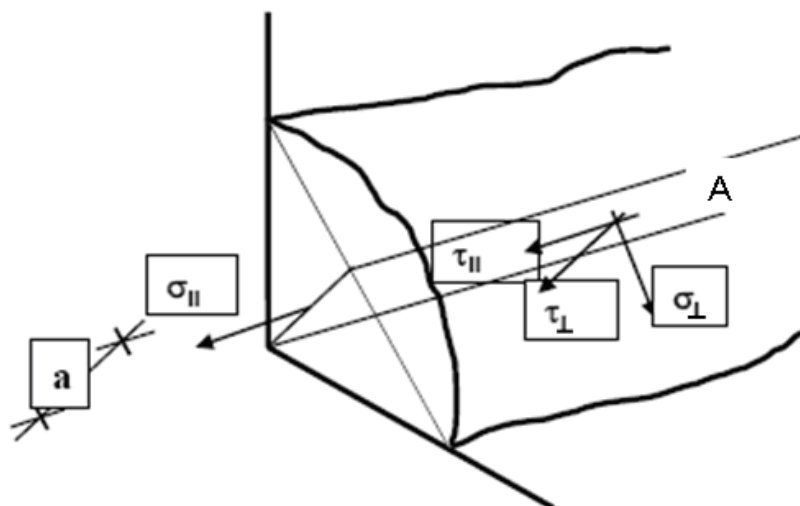


Figura 6 - Tensiones en el plano de garganta.

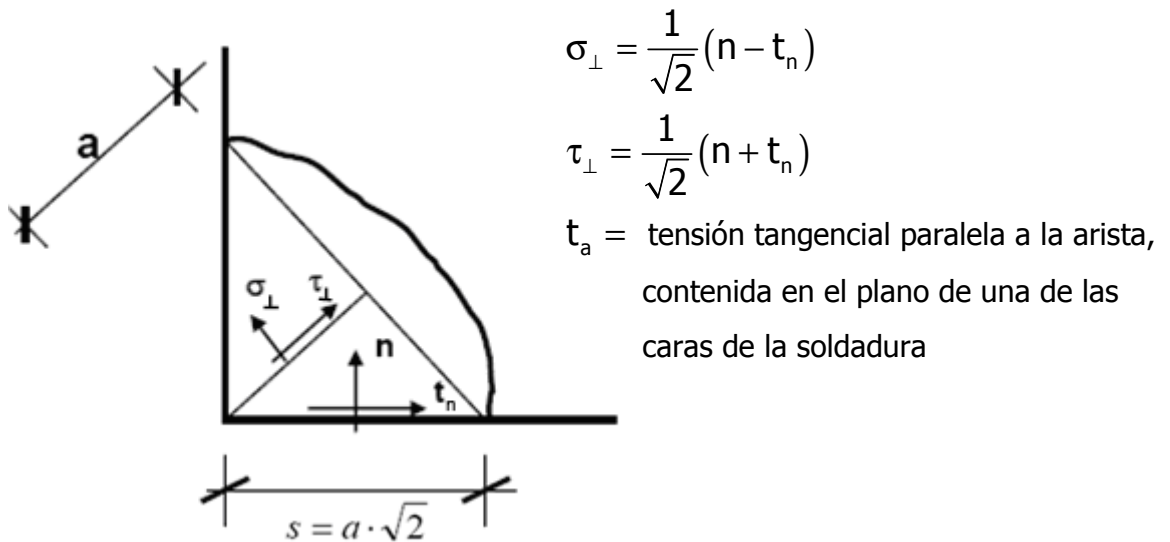


Figura 7 - Tensiones en un cordón de soldadura.

Todas las normas vigentes en España admiten que un cordón en ángulo agota su capacidad resistente cuando una determinada función del estado tensional, llamada tensión de comparación, alcanza el valor de la tensión última del metal de base, esto es, cuando se cumple que:

$$\sigma_{co} = f(\sigma_{\parallel}, \sigma_{\perp}, \tau_{\parallel}, \tau_{\perp}) = \sigma_u$$

Obsérvese que σ_{co} no es más que un ente de razón ideado para facilitar los cálculos; por consiguiente, no es una tensión real que pueda medirse con un dispositivo experimental.

Dada la complejidad del estado tensional existente en un cordón de soldadura, no es factible llegar a la determinación teórica de dicha función σ_{co} . Tradicionalmente se han admitido como válidas expresiones de la forma:

$$\sigma_{co} = \beta \sqrt{\alpha \sigma_{\parallel}^2 + k [\sigma_{\perp}^2 + \lambda (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]}$$

Los coeficientes α , β y k se ajustan mediante la realización de ensayos experimentales de cordones de soldadura llevados hasta rotura (de ahí el que no se trabaje en "tensiones admisibles").

Las normas en estudio de este documento toman los coeficientes propuestos por el Instituto Internacional de la Soldadura en 1976, $\alpha=0$, $k=1$, $\lambda=3$ y β variando según el tipo de acero. Resulta así que:

$$\sigma_{co} = \beta \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)}$$

A parte de este procedimiento, las normativas también contemplan un método simplificado, similar al Método Americano de la máxima tensión tangencial, en

el que la resistencia de un cordón de soldadura es suficiente si la resultante de todas las fuerzas transmitidas por el cordón por unidad de longitud $F_{w,Ed}$, no supera el valor de su resistencia de cálculo $F_{w,Rd}$ con independencia de la orientación del cordón.

4.1.3. Expresiones para el cálculo de la resistencia de un cordón de soldadura

Se muestran a continuación las expresiones propuestas por las normativas para el cálculo de la resistencia de los cordones de soldadura.

Método direccional
<p>La resistencia de un cordón será suficiente si se cumplen simultáneamente:</p> $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$ $\sigma_{\perp} \leq 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} ; \text{ (en la EAE y el CTE no se incluye el parámetro 0.9)}$ <p>donde: σ_{\perp} = la tensión normal perpendicular a la garganta de la soldadura τ_{\perp} = la tensión tangencial (en el plano de garganta) perpendicular al eje de la soldadura τ_{\parallel} = la tensión tangencial (en el plano de garganta) paralela al eje de la soldadura f_u = la resistencia última del acero β_w = el coeficiente de correlación en función del tipo de acero γ_{M2} = el factor parcial de seguridad = 1.25</p>

Método de la máxima tensión tangencial
$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} = a \cdot f_{vw,d}$ <p>donde: a = espesor de garganta</p> $f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} ; \text{ para el EC3 y el CTE}$ $f_{vw,d} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{2 + \cos^2 \alpha}} ; \text{ para la EAE}$

Tabla 5 - Expresiones para el cálculo de resistencias en uniones soldadas

4.2. DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS

En la tabla 6 se recoge la información más relevante, en cuanto a disposiciones constructivas de las soldaduras, que ofrecen los documentos normativos que se estudian en este trabajo

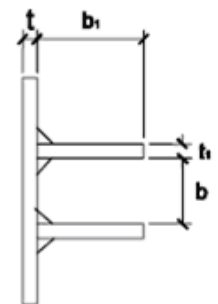
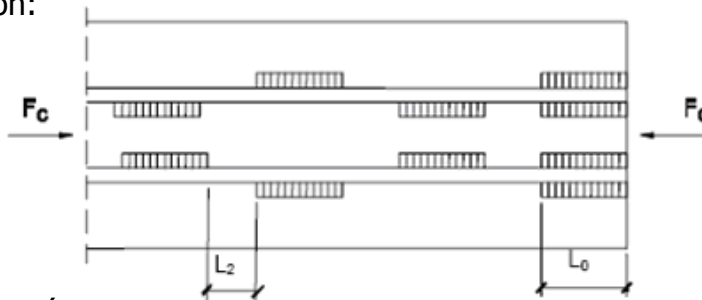
	EAE	DB SE-A	EC3
ESPESOR DE GARGANTA			
	$a \geq 3mm$ en chapas $\leq 10mm$ $a \geq 4,5mm$ en chapas $\leq 20mm$ $a \geq 5,6mm$ en chapas $> 20mm$	$a \geq 4mm$	$a \geq 3mm$
Piezas de sección tubular	$a \geq 0,7 \cdot t_{\min}$		
TERMINACIÓN			
	Los cordones deben prolongarse en una longitud al menos igual a $3a$	Deben prolongarse con el mismo espesor de garganta y longitud $2a$	Los cordones que terminen en esquinas deben prolongarse con una longitud igual a $\sqrt{2} \cdot a$
CORDONES DISCONTINUOS			
	Se pueden utilizar en ambientes con grado de corrosividad C1 o C2, con cargas predominantemente estáticas, y siempre que el espesor de garganta requerido sea inferior al recomendado.	No utilizables en ambientes corrosivos	No deben utilizarse soldaduras a tope discontinuas. No utilizables en ambientes corrosivos.
Dist. Entre extremos de cordones parciales	$L_1 \leq 200mm,$ $L_1 \leq 12 \cdot t_{\min} (comp.),$ $L_1 \leq 16 \cdot t_{\min} (trac.),$ $L_1 \leq$ una cuarta parte de la distancia entre rigidizadores, cuando la soldadura se usa para conectarlos a una chapa o a una parte de una pieza sometida a compresión o a cortadura.	$L_2 \leq 12 \cdot t, 12 \cdot t_1, 0,25b, 200mm (comp.)$ $L_1 \leq 16 \cdot t, 16 \cdot t_1, 200mm (trac.)$	
Longitud de cada cordón parcial	$L_0 \geq 5 \cdot a$ $L_0 \geq 40mm$	$L_0 \geq 0,75 \cdot b_1, 0,75 \cdot b$	
Cordones parciales en los extremos	En cordones en ángulo discontinuos siempre tienen que existir, y deben tener una longitud $\geq \frac{3}{4} \cdot t_{\min}$	Es un detalle obligatorio	En cordones en ángulo discontinuos siempre tienen que existir, y deben tener una longitud $\geq \frac{3}{4} \cdot t_{\min}$
LONGITUD MÍNIMA			
	Los cordones en ángulo laterales que transmitan axil, $L_w \geq 15 \cdot a$ y $L_w \geq$ ancho de la pieza a unir.		

LONGITUD EFECTIVA		
La total del cordón si se mantiene el espesor de garganta nominal		
$L_{w,ef} \geq 40mm$ y $L_{wef} \geq 6 \cdot a$		$L_{w,ef} \geq 30mm$ y $L_{wef} \geq 6 \cdot a$
SOLAPES		
$Solape \geq 5 \cdot t_{min}$ $Solape \geq 25mm$		
+		
cordones frontales (si existen esfuerzos axiales)		
Si $L_w \geq 150a \rightarrow$ $L_{w,ef} = \beta_1 \cdot L_w$ donde $\beta_1 = 1,2 - \frac{0,2 \cdot L_w}{150a} \leq 1$ ó $0,6 \leq \beta_1 = 1,1 - \frac{L_w}{17000} \leq 1$ si $L_w > 1700mm$	Si $L_w \geq 150a \rightarrow$ $L_{w,ef} = \beta_1 \cdot L_w$ donde $\beta_1 = 1,2 - \frac{0,2 \cdot L}{150a} \leq 1$ $L = \text{longitud total del solape en la dirección del esfuerzo}$	Si $L_w \geq 150a \rightarrow$ $L_{w,ef} = \beta_1 \cdot L_w$ donde $\beta_1 = 1,2 - \frac{0,2 \cdot L_j}{150a} \leq 1$ ó $L_j = \text{long. Total del solape en la dirección del esfuerzo}$ $0,6 \leq \beta_1 = 1,1 - \frac{L_w}{17} \leq 1$ si $L_w > 1,7 m$
DESGARRO LAMINAR		
Se trataran de evitar uniones en las que la dirección principal de las tensiones de tracción sea transversal a la dirección de laminación de las chapas que se unen.		

Tabla 6 - Disposiciones constructivas de los cordones de soldadura.

En la figura 7 se representan gráficamente los parámetros de diseño de los cordones de soldadura a los que se alude en la tabla anterior.

A tracción:



A compresión:

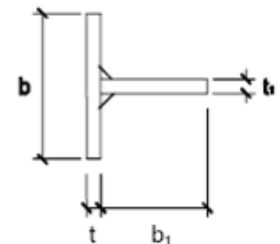
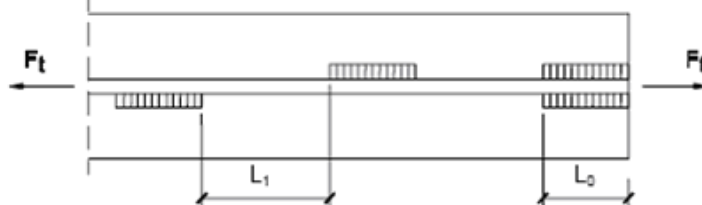


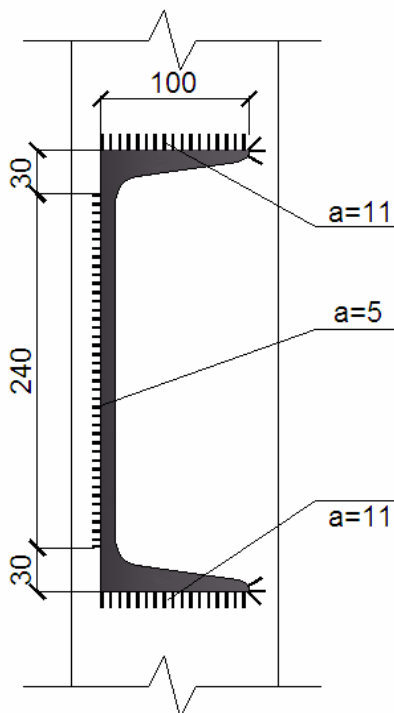
Figura 8 - Dimensiones relevantes en los cordones de soldadura para comprobar los requisitos relativos a las disposiciones constructivas

4.3. RESOLUCIÓN DE UNIONES TÍPICAS

De la misma forma que en el apartado 3.3. de uniones atornilladas, se han resuelto cuatro problemas de uniones soldadas, a modo de ejemplo y para hacer evidentes las similitudes y diferencias de cada una de las normativas. Se ha intentado que las uniones calculadas fueran representativas de las uniones comúnmente utilizadas en estructura metálica y también añadir algún tipo de unión no tratada en el capítulo anterior.

En estos ejemplos se resuelven, por las tres normativas tratadas, la unión de una viga a soporte, unión a tracción de un angular a una cartela, unión de ménsula a soporte y por último una unión de angular a soporte.

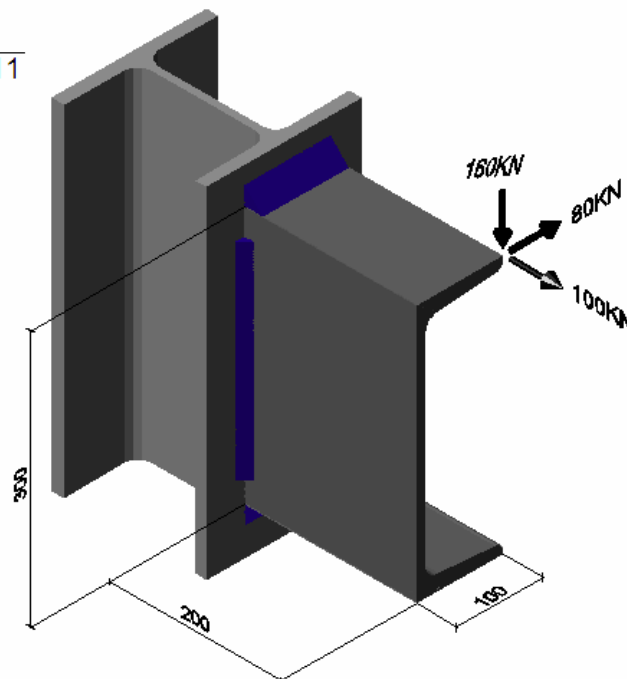
4.3.1. Unión de viga a soporte



Comprobar la seguridad de la unión del UPN300 a un soporte, con los cordones laterales exteriores que se indican.

Acero S 275 JR .

En el croquis adjunto se dan los valores de cálculo que debe soportar la unión.

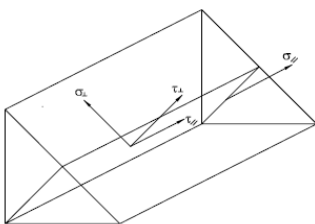


SOLUCIÓN EC3

Este ejemplo se refiere a la norma EN 1993-1-8 que corresponde al diseño de uniones.

Para la resolución se ha escogido el método de las direcciones

La resistencia de la unión será suficiente si verifica:



$$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2) \right]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \gamma$$

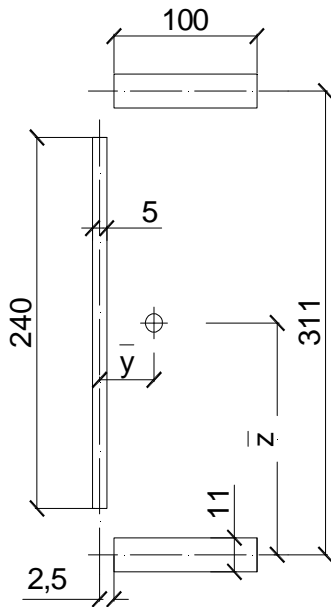
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2}$$

Sec.4.5.3.2.

Ec. 4.1.

En primer lugar se abaten los planos de garganta de los cordones de soldadura sobre el plano de contacto.

A continuación se obtienen las características geométricas del conjunto:



$$A = \sum a_i \cdot l_i = 2 \cdot 100 \cdot 11 + 240 \cdot 5 = 3400 \text{ mm}^2$$

c.d.g.

$$\bar{y} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 11 \cdot 52,5}{3400} = 33,97 \text{ mm}$$

$$\bar{z} = \frac{311}{2} = 155,5 \text{ mm}$$

Momentos de inercia (método lineal = sin inercia propia \perp espesor)

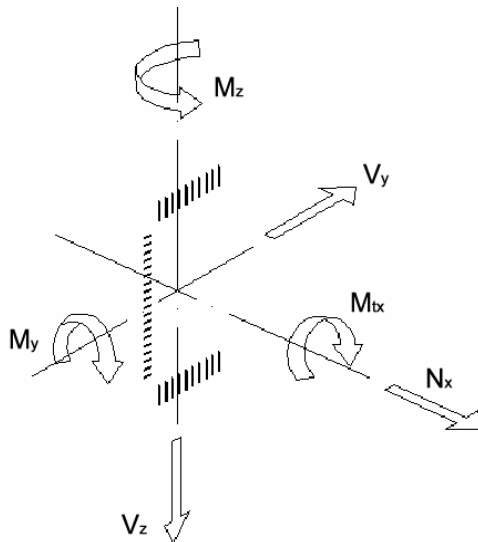
$$I_y = 2 \cdot 100 \cdot 11 \cdot 155,5^2 + \frac{240^3 \cdot 5}{12} = 58956550 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 2 \left(\frac{100^3 \cdot 11}{12} + 100 \cdot 11 \cdot (52,5 - 33,97)^2 \right) +$$

$$+ 240 \cdot 5 \cdot 33,97^2 = 3973480 \text{ mm}^4$$

$$I_p = I_y + I_z = 62930030 \text{ mm}^4$$

Ahora se obtienen los esfuerzos referidos a esta sección resistente formada por el conjunto de cordones abatidos.



Cortantes:

$$V_y = 80 \text{ KN} \quad \text{horizontal}$$

$$V_z = 160 \text{ KN} \quad \text{vertical}$$

Torsor:

$$M_{tx} = 160(102,5 - 33,97) +$$

$$+ 80 \cdot 155,5 = 22964,8 \text{ mmKN}$$

Axil:

$$N_x = 100 \text{ KN}$$

Flectores:

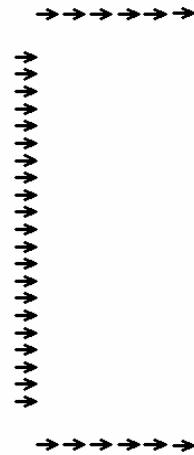
$$M_y = 160 \cdot 200 + 100 \cdot 150 = 47000 \text{ mmKN}$$

$$M_z = 80 \cdot 200 - 100(102,5 - 33,97) = 9147 \text{ mmKN}$$

Ahora se determinan ordenadamente las tensiones tangenciales t_n y t_a producidas por los cortantes y el torsor, y la tensión normal n por efecto del axil y los flectores.

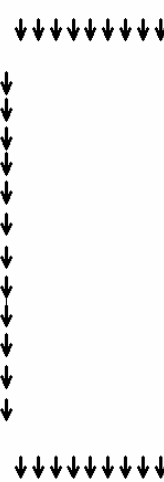
- Por efecto de $V_y = 80KN$

$$t_y = \frac{V_y}{A} = \frac{80 \cdot 10^3}{3400} = 23,53 \text{ N/mm}^2$$



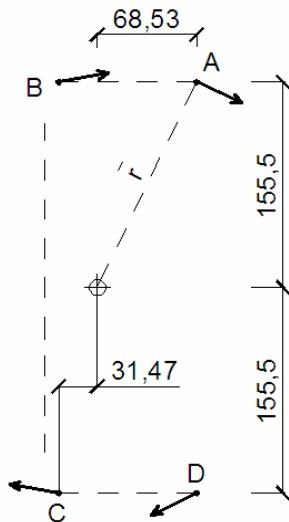
- Por efecto de $V_z = 160KN$

$$t_z = \frac{V_z}{A} = \frac{160 \cdot 10^3}{3400} = 47,06 \text{ N/mm}^2$$



- Por efecto del torsor $M_{tx} = 22964,8 \cdot 10^3 \text{ mmKN}$

en las cuatro esquinas y por componentes, ya proyectadas



$$\vec{t}_T = \frac{M_{tx}}{I_p} \cdot \vec{r} \quad \left\{ \begin{array}{l} t_y = \frac{M_{tx}}{I_p} \cdot z \\ t_z = \frac{M_{tx}}{I_p} \cdot y \end{array} \right.$$

A) $t_y = \frac{22964,8 \cdot 10^3}{62930030} \cdot 155,5 = 56,75 \text{ N/mm}^2$

$t_z = \frac{22964,8 \cdot 10^3}{62930030} \cdot 68,53 = 25,01 \text{ N/mm}^2$

B) $t_y = 56,75 \text{ N/mm}^2$ como punto A

$t_z = \frac{22964,8 \cdot 10^3}{62930030} \cdot (-31,47) = -11,49 \text{ N/mm}^2 \uparrow$

C) $t_y = -56,75 \text{ N/mm}^2$ hacia izquierda, o sea contrario a los puntos A y B

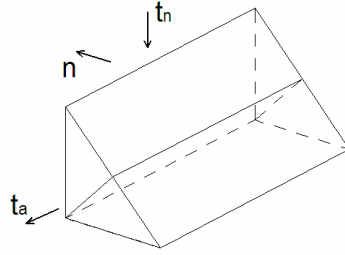
$t_z = -11,49 \text{ N/mm}^2$ ascendente como punto B

D) $t_y = -56,75 \text{ N/mm}^2$ como punto C

$t_z = 25,01 \text{ N/mm}^2$ como punto A

Todas estas tensiones tangenciales se suman algebraicamente en los puntos de interés, situados en los cordones horizontales.

A) $t_n = 47,06 + 25,01 = 72,07 \text{ N/mm}^2$ ↓ ⊥ normal
 $t_a = 23,53 + 56,75 = 80,28 \text{ N/mm}^2$ → ∥ paralela



B) $t_n = 47,06 - 11,49 = 35,57 \text{ N/mm}^2$ ↓
 $t_a = 23,53 + 56,75 = 80,28 \text{ N/mm}^2$ →

C) $t_n = 47,06 - 11,49 = 35,57 \text{ N/mm}^2$ ↓
 $t_a = 23,53 - 56,75 = -33,22 \text{ N/mm}^2$ ←

D) $t_n = 47,06 + 25,01 = 72,07 \text{ N/mm}^2$ ↓
 $t_a = 23,53 - 56,75 = -33,22 \text{ N/mm}^2$ ←

Ahora se determina la tensión normal n en esos puntos:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} \cdot y + \frac{M_y}{I_y} \cdot x$$

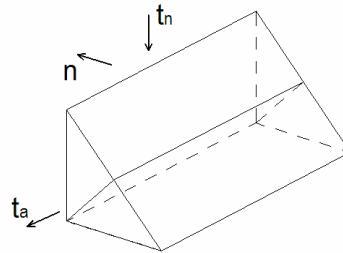
A) $n = \frac{100 \cdot 10^3}{3400} + \frac{47 \cdot 10^6}{58956550} \cdot 155,5 - \frac{9,147 \cdot 10^6}{3973480} \cdot 68,53 = -4,51 \text{ N/mm}^2$ (compresión)

B) $n = \frac{100 \cdot 10^3}{3400} + \frac{47 \cdot 10^6}{58956550} \cdot 155,5 + \frac{9,147 \cdot 10^6}{3973480} \cdot 31,47 = 22,59 \text{ N/mm}^2$ (tracción)

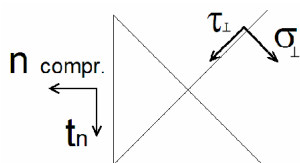
C) $n = \frac{100 \cdot 10^3}{3400} - \frac{47 \cdot 10^6}{58956550} \cdot 155,5 + \frac{9,147 \cdot 10^6}{3973480} \cdot 31,47 = -22,06 \text{ N/mm}^2$ (compresión)

D) $n = \frac{100 \cdot 10^3}{3400} - \frac{47 \cdot 10^6}{58956550} \cdot 155,5 - \frac{9,147 \cdot 10^6}{3973480} \cdot 68,53 = -252,4 \text{ N/mm}^2$ (compresión)

A continuación se pasan estas tensiones al plano de garganta en cada punto y se aplica la fórmula de la tensión de comparación.



A)



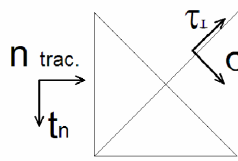
$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} (-4,51 + 72,07) = 47,77 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} (4,51 + 72,07) = 54,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = 80,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 174,38 \text{ N/mm}^2$$

B)



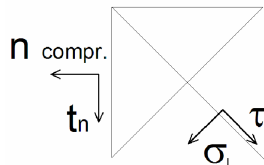
$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}}(225,9 + 35,57) = 184,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}}(225,9 - 35,57) = 134,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = 80,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 328,39 \text{ N/mm}^2$$

C)



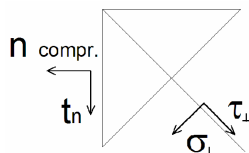
$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}}(22,06 + 35,57) = 40,74 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}}(22,06 - 35,57) = 9,47 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = 33,22 \text{ N/mm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 72,38 \text{ N/mm}^2$$

D)



$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}}(252,4 + 72,07) = 229,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}}(-252,4 + 72,07) = 127,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = 33,22 \text{ N/mm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 323,65 \text{ N/mm}^2$$

El punto más solicitado es el B en conjunto y el D en tensión normal σ_{\perp} .

Llegado este punto ya podemos comprobar si la unión es suficiente, para ello necesitamos f_u , β_w y γ_{M2} :

El factor parcial de seguridad $\gamma_{M2} = 1.25$

Al tratarse de acero S275, $f_u = 430 \text{ N/mm}^2$

$$\beta_w = 0.85$$

La unión es segura ya que cumple las dos verificaciones:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$328,39 \text{ N/mm}^2 < \frac{430}{0,85 \cdot 1,25} = 404,7 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Tabla 2.1.

Tabla 4.1.

Ec. 4.1.

$\sigma_{\perp} < 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$ $229 \text{ N/mm}^2 < 0.9 \frac{430}{1,25} = 309.6 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$	Ec. 4.1.
<p>SOLUCIÓN EAE</p>	Sec. 59.8
<p>La resolución siguiente es análoga a la de Eurocódigo, excepto en la fórmula de la tensión perpendicular, que no incluye el coeficiente 0,9.</p>	Sec. 59.8.2.
$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$	
<p>Donde: $\gamma_{Mw} = 1.25$</p>	
$f_u = 430 \text{ N/mm}^2$	Tabla 59.8.2.
$\sigma_{\perp} = 229 \text{ N/mm}^2 \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} = \frac{430}{1.25} = 344 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$	
<p>Respecto a las disposiciones constructivas, la EAE dice:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los cordones no deben terminar en las esquinas de las piezas o de elementos de las mismas, sino que deben prolongarse alrededor de la esquina, siempre que la prolongación pueda realizarse en el mismo plano que el cordón, en una longitud al menos igual a tres veces la garganta a del cordón. 	
<p>SOLUCIÓN CTE</p>	Sec. 8.6.
<p>El Código Técnico propone para el cálculo de uniones en ángulo el método simplificado del eurocódigo (EC, 4.5.3.3.). Aunque en este ejemplo no se considera aplicable, ya que este método no tiene en cuenta las solicitaciones normales producidas por el axil y los momentos M_y y M_z.</p>	Sec. 8.6.2.2.
<p>Como alternativa al método citado anteriormente, el CTE también propone el método de las direcciones del Eurocódigo. Que consiste en descomponer los esfuerzos transmitidos por unidad de longitud en sus componentes, suponiendo que sobre la sección de garganta hay una distribución uniforme de tensiones.</p>	Sec. 8.6.2.3.
<p>No obstante, al igual que en EAE, no se incluye el coeficiente de 0.9 en la fórmula de comprobación de la máxima tensión perpendicular.</p>	Ec. 8.23

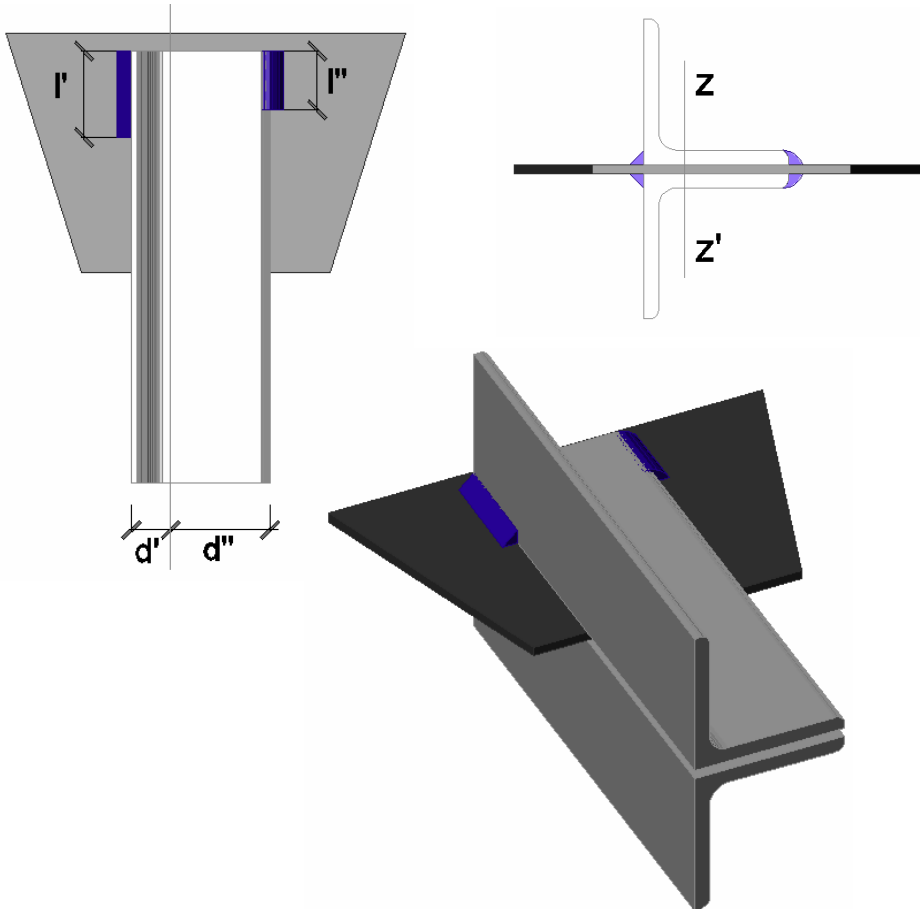
<p>En cuanto a las disposiciones constructivas, el CTE dice:</p> <ul style="list-style-type: none">• Los cordones deben, si es posible, prolongarse redondeando las esquinas, con el mismo espesor de garganta y longitud dos veces dicho espesor.• La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal, pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta. Condiciones que se cumplen holgadamente en este ejemplo.	Sec. 8.6.1.
--	-------------

4.3.2. Unión a tracción de un angular a una cartela.

Sean 2 angulares de 80 x 80 x 8 soldados a una cartela por 2 cordones de soldadura de espesor $a = 4$ mm.

El esfuerzo de cálculo del axil a tracción N_{sd} es 40 kN, siendo las distancias d' y d'' 23 y 57 mm respectivamente.

El acero empleado es un S 235.



Se pide: Determinar la longitud de los cordones de soldadura.

SOLUCIÓN EC3

De forma ideal, podemos suponer que el centro de gravedad de los cordones de soldadura se sitúa sobre el eje neutro de los angulares ZZ' . De este modo, los momentos estáticos de dichos cordones son iguales: $l' \cdot d' = l'' \cdot d''$.

Según el Eurocódigo 3 la expresión o el criterio general para verificar cualquier cordón de soldadura es la siguiente:

$$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2) \right]^{0.5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \gamma \quad \sigma_{\perp} \leq 0.9 f_u / \gamma_{M2}$$

Sec.4.5.3.2.

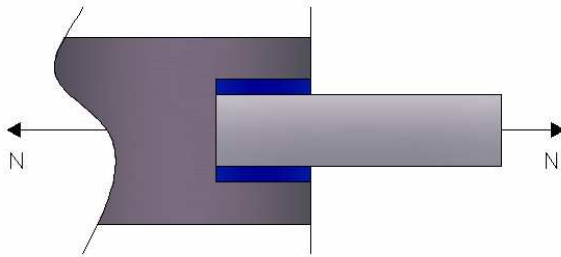
Ec. 4.1.

en donde:

f_u = resistencia última del acero

γ_{M2} = coeficiente parcial para la resistencia última del cordón de soldadura

En nuestro caso se trata de un cordón de soldadura lateral que se podría representar de forma simplificada de la siguiente forma:



En esta situación tenemos:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0 \text{ y } \tau_{\parallel} = \frac{N_{Sd}}{a \cdot \sum l}$$

Por lo que sustituyendo en la expresión general resulta la expresión siguiente:

$$\beta_w \sqrt{0 + 3 \left(0 + \left(\frac{N_{Sd}}{a \cdot \sum l} \right)^2 \right)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \Rightarrow \sum l \geq \beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \frac{N_{Sd} \sqrt{3}}{a \cdot f_u}$$

siendo $\sum l$ en nuestro caso $2(l' + l'')$

Para β_w y γ_{M2} se adoptan los valores de 0.8 y 1.25 respectivamente.

Por lo tanto, la expresión anterior será la que nos proporcionará la longitud total del cordón de soldadura a aplicar. Pero si queremos saber los valores concretos de l' y l'' debemos aplicar la igualdad de momentos estáticos, que nos dará la segunda condición necesaria para la resolución.

$$l'' = l' \frac{d'}{d''} \Rightarrow \sum l = 2l' \left(1 + \frac{d'}{d''} \right) = 2l'' \left(1 + \frac{d''}{d'} \right)$$

Operando se obtienen las longitudes l' y l'' de los cordones de soldadura:

$$l' \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot N \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot a \cdot f_u \cdot \left(1 + \frac{d'}{d''} \right)} = 17 \text{ cm}$$

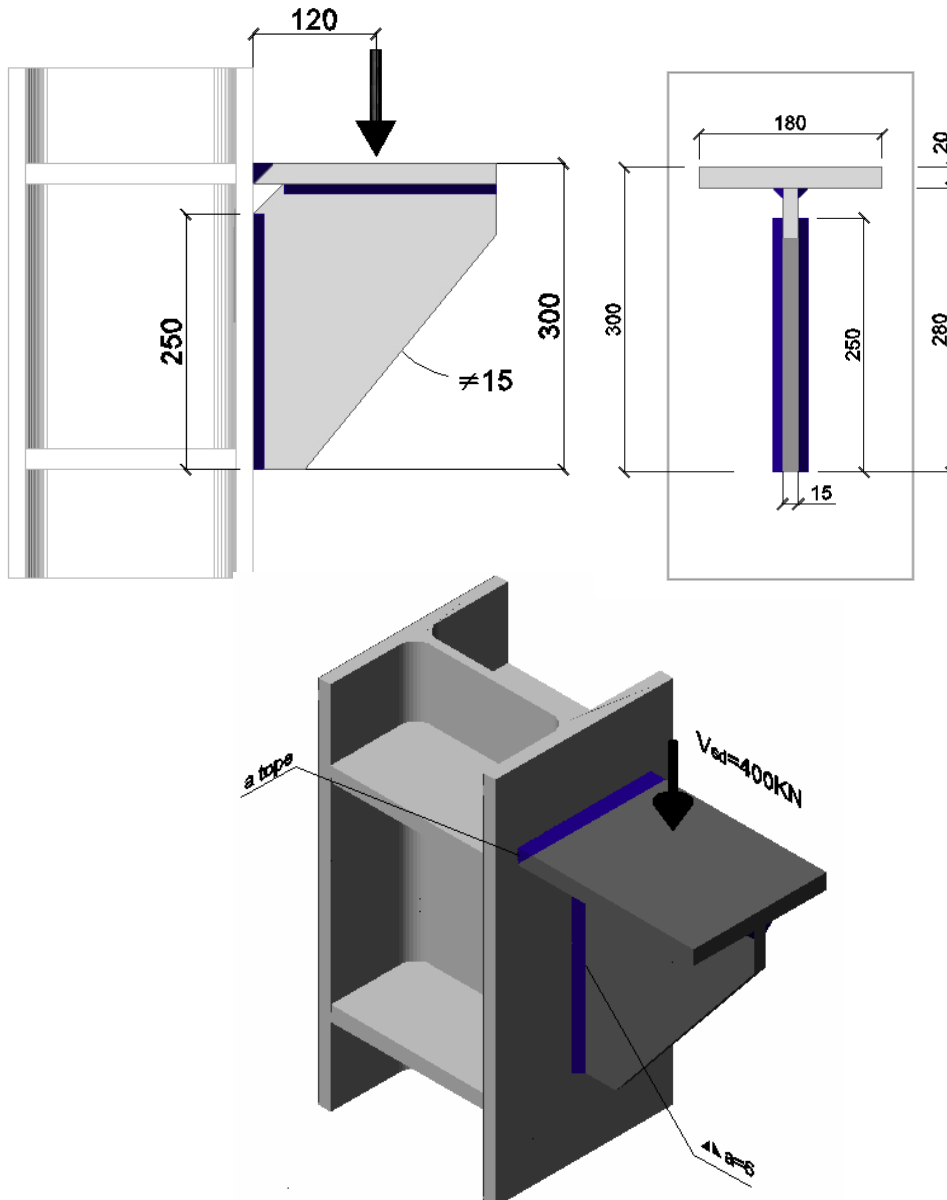
$$l'' \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot N \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot a \cdot f_u \cdot \left(1 + \frac{d''}{d'} \right)} = 7 \text{ cm}$$

Tabla 4.1.
Tabla 2.1.

<p>Este texto normativo limita la longitud mínima de los cordones para que se consideren efectivos en la transmisión de esfuerzos. Las longitudes no pueden ser inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta. Las longitudes obtenidas en la solución son claramente superiores a estos valores.</p>	<p>Sec.4.5.1.2.</p>
<p>SOLUCIÓN EAE</p>	<p>Art. 59.8.</p>
<p>Según EAE, la resolución es análoga a la de Eurocódigo 3.</p>	
<p>En referencia a la longitud mínima de los cordones, EAE dice que no pueden ser inferiores a 40 mm o a 6 veces el espesor de garganta. Esta pequeña variación respecto a Eurocódigo no tiene importancia en este ejercicio.</p>	<p>Art. 58.8.1.</p>
<p>SOLUCIÓN CTE</p> <p>La resolución se lleva acabo de la misma manera que según las otras normativas.</p>	

4.3.3. Unión de ménsula a soporte

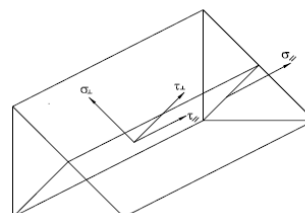
En los croquis adjuntos se representa un apoyo rigidizado en ménsula que recibe la reacción vertical máxima de una viga carrilera de 400 kN. Comprobar las soldaduras suponiendo acero S 275 JR.



SOLUCIÓN EC3

La resistencia de la unión será suficiente si verifica:

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3(\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{y} \quad \sigma_I \leq 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$



Sec.4.5.3.2.

Ec. 4.1.

Se considera el cordón a tope de la platabanda superior de penetración completa como totalmente eficaz y se abaten los dos cordones de ángulo laterales.

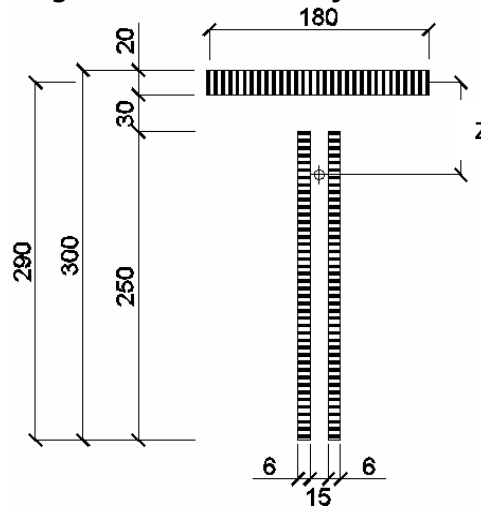
A continuación se abaten los planos de garganta de los cordones de soldadura y se obtienen las características geométricas del conjunto:

$$A = \sum l_i a_i = 180 \cdot 20 + 2 \cdot 250 \cdot 6 = 6600 \text{ mm}^2$$

Determinación del c.d.g.

$$\bar{z} = \frac{180 \cdot 20 \cdot 0 + 2 \cdot 250 \cdot 6 \cdot (290 - 125)}{6600} = 75 \text{ mm}$$

(no se tiene en cuenta la contribución en sentido del espesor)



Momento de inercia respecto del c.d.g.

$$I = 180 \cdot 20 \cdot (75)^2 + 2 \left(\frac{250^3 \cdot 6}{12} + 250 \cdot 6 \cdot (290 - 125 - 75)^2 \right) = 60175000 \text{ mm}^4$$

- En la soldadura superior las tensiones són:

$$n = \frac{M_{Sd}}{I} y = \frac{120 \cdot 400 \cdot 10^3}{60175000} 75 = 59.83 \text{ N/mm}^2$$

$$t_n = \frac{V_{Sd}}{A} = \frac{400 \cdot 10^3}{6600} = 60.60 \text{ N/mm}^2$$

$$t_a = 0$$

- En el extremo inferior de los cordones laterales:

$$n = \frac{M_{Sd}}{I} y = \frac{120 \cdot 400 \cdot 10^3}{60175000} (290 - 75) = 171.50 \text{ N/mm}^2$$

$$t_n = 0$$

$$t_a = \frac{V_{Sd}}{A} = \frac{400 \cdot 10^3}{6600} = 60.60 \text{ N/mm}^2$$

Claramente el punto más desfavorable es en el extremo inferior de los cordones laterales.

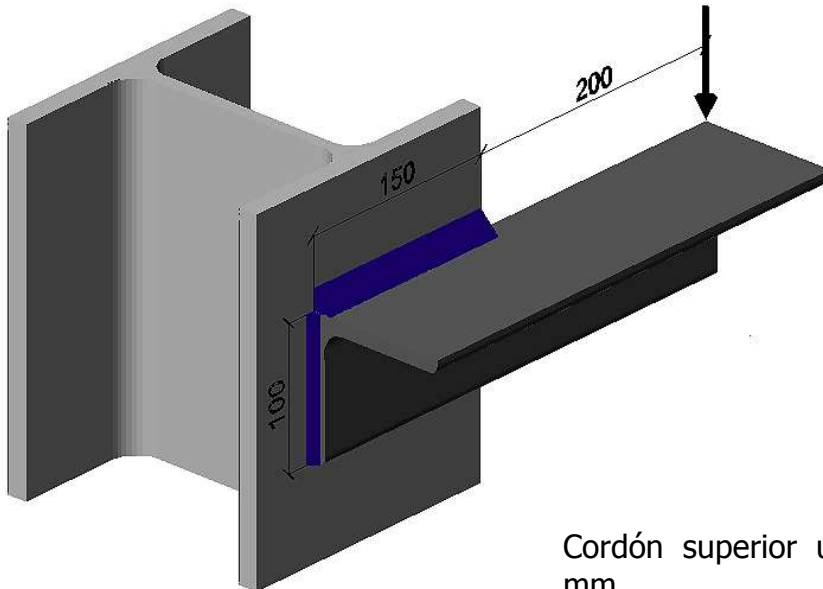
Pasando a plano de garganta ($t_n = 0$)

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} n = 121.27 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} n = 121.27 \text{ N/mm}^2$$

<p>Se aplica la fórmula del Eurocódigo 3, siendo para el acero S275:</p> $f_u=430 \text{ N/mm}^2$ $\beta_w=0.85$ $\gamma_{M2}=1.25$ $\sqrt{121.27^2 + 3(121.27^2 + 60.60^2)} = 264.27 \leq \frac{430}{0.85 \cdot 1.25} = 404.7 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$ $\sigma_{\perp} = 121.27 \leq 0.9 \frac{430}{1.25} = 309.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$ <p>SOLUCIÓN EAE</p> <p>La única variación es que en la expresión de la tensión perpendicular no se incluye el coeficiente 0.9, por tanto, des del punto de vista de este texto normativo también se tratará de una unión segura.</p> <p>SOLUCIÓN CTE</p> <p>Se resuelve de la misma forma que en la EAE.</p>	<p>Ec. 4.1.</p> <p>Tabla 4.1.</p> <p>Tabla 2.1.</p> <p>Art. 59.8.</p> <p>Aptd. 8.6.</p>
--	---

4.3.4. Unión de angular a soporte

Comprobar las soldaduras del angular 100.100.10 del croquis adjunto, sometido a la carga mayorada de valor $P = 61\text{KN}$ que actúa en el plano de los cordones.

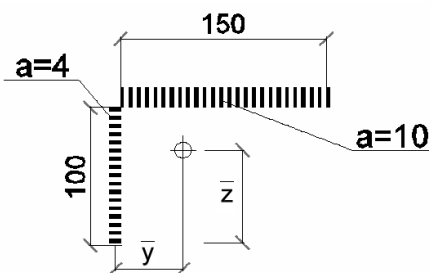


Cordón superior único $a = 10$ mm
 Cordón lateral único $a = 4$ mm
 Acero S 355

SOLUCIÓN EC3

En primer lugar se deben abatir los cordones de soldadura y calcular las características geométricas:

Sec.4.5.3.2.



$$A = 150 \cdot 10 + 100 \cdot 4 = 1900 \text{ mm}^2$$

$$\bar{y} = \frac{150 \cdot 10 \cdot 75}{1900} = 59.2 \text{ mm}$$

$$\bar{z} = \frac{150 \cdot 10 \cdot 100 + 100 \cdot 4 \cdot 50}{1900} = 89.5 \text{ mm}$$

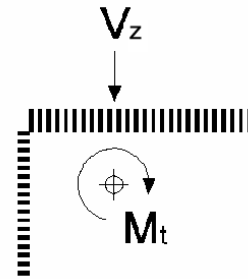
$$I_y = 150 \cdot 10 \cdot (100 - 89.5)^2 + \frac{100^3}{12} \cdot 4 + 100 \cdot 4 \cdot (89.5 - 50)^2 = 1122808 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 100 \cdot 4 \cdot 59.2^2 + \frac{150^3}{12} \cdot 10 + 150 \cdot 10 \cdot (75 - 59.2)^2 = 4588816 \text{ mm}^4$$

$$I_p = I_y + I_z = 5711624 \text{ mm}^4$$

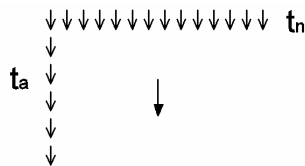
En este conjunto de cordones hay dos esfuerzos:

- Cortante vertical $V_z = 61KN$
- Torsor, ejercido por esa carga con relación al centro de gravedad del conjunto
 $M_t = (150 - 59.2 + 200) \cdot 61 = 17.7388mKN$



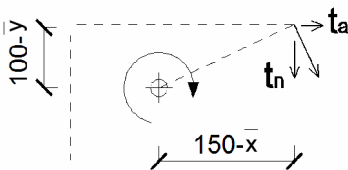
Ahora se determinan las tensiones tangenciales t_n y t_a producidas por el cortante y la tensión normal n por efecto del flectors.

El cortante produce una tensión tangencial en ambos cordones:



$$t_a = t_n = \frac{V_z}{A} = \frac{61 \cdot 10^3}{1900} = 31.1 N/mm^2$$

El torsor produce tensiones tangenciales proporcionales a la distancia al c.d.g.



Obviamente el peor punto es el más alejado. Las componentes son en él:

$$t_a = \frac{M_t}{I_p} (100 - \bar{y}) = \frac{17.7388 \cdot 10^6}{5711624} 10.5 = 32.6 N/mm^2$$

$$t_n = \frac{M_t}{I_p} (150 - \bar{x}) = \frac{17.7388 \cdot 10^6}{5711624} 90.8 = 282 N/mm^2$$

Superponiendo efectos en ese punto extremo:

$$t_n = 31.1 + 282 = 313.1 N/mm^2 ; t_a = 32.6 N/mm^2$$

Pasamos al plano de garganta:

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} (n - t_n) = 221.4 N/mm^2$$

$$\tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} (n + t_n) = 221.4 N/mm^2$$

$$\tau_{\parallel} = t_a = 32.6 N/mm^2$$

Aplicando EC3, con:

$$f_u = 510 N/mm^2$$

$$\beta_w = 0.9$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

Tabla 4.1.

Tabla 2.1.

$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = 446.38 \text{ N/mm}^2 < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453.33 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$ $\sigma_{\perp} = 221.4 \text{ N/mm}^2 < 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \frac{510}{1.25} = 367.2 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$	<p>Ec. 4.1.</p>
<p>SOLUCIÓN EAE</p> <p>La resolución es idéntica a la anterior, con dos excepciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La expresión de la tensión perpendicular no incluye el coeficiente 0.9 • La tensión de rotura indicada en esta instrucción para la norma UNE-EN-10025 para el acero S 355 es 520 N/mm² 	<p>Art. 59.8.</p> <p>Art. 59.8.2.</p> <p>Tabla 59.8.2.</p>
<p>Con estas variaciones, las comprobaciones a realizar son:</p> $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = 446.38 \text{ N/mm}^2 < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 462 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$ $\sigma_{\perp} = 221.4 \text{ N/mm}^2 < \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{520}{1.25} = 416 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$	
<p>SOLUCIÓN CTE</p> <p>Para esta normativa la resolución es muy parecida a la de EAE y EC3. En este caso la tensión de rotura toma el valor de 510 N/mm².</p> $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = 446.38 \text{ N/mm}^2 < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453.33 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$ $\sigma_{\perp} = 221.4 \text{ N/mm}^2 < \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{510}{1.25} = 367.2 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$	<p>Ap. 8.6.</p> <p>Tabla 8.1.</p> <p>Ec. 8.23.</p>
<p>No obstante, el CTE propone como primer método de resolución un procedimiento simplificado.</p> <p>Este procedimiento considera adecuado un cordón en ángulo (con cualquier dirección: longitudinal, transversal y oblicuo) si en cualquier punto de él, la resultante por unidad de longitud de las fuerzas transmitidas $F_{w,Ed}$ no supera su resistencia por unidad de longitud $F_{w,Rd}$.</p> $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$ $F_{w,Ed} = \frac{F}{L}$ $F_{w,Rd} = a \cdot f_{vw,d} = a \cdot \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$	<p>Ap. 8.6.2.(1-2)</p> <p>Ec. 8.21</p>

<p>siendo:</p> <p>F = esfuerzo total sobre las soldaduras a y L = espesor de garganta y longitud eficaz del cordón f_u = resistencia a tracción de la pieza más débil de la unión $\gamma_{M2} = 1.25$ coeficiente parcial de seguridad de la unión soldada β_w = coeficiente de correlación en función del tipo de acero de las piezas a soldar, para acero S355 = 0.90</p> <p>A partir de los valores obtenidos anteriormente tenemos la tensión tangencial en el punto más desfavorable, $t_x = 313.1 \text{ N/mm}^2$ y $t_y = 32.6 \text{ N/mm}^2$. La tensión tangencial total será:</p> $f_{w,Ed} = \sqrt{313.1^2 + 32.6^2} = 314.8 \text{ N/mm}^2$ <p>Ésta debe ser menor que $f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510 / \sqrt{3}}{0.9 \cdot 1.25} = 261.7 \text{ N/mm}^2$.</p> <p>Luego, podemos afirmar que según el método simplificado la unión no cumple. Esta diferencia entre el procedimiento simplificado y el otro es debido a que al hacer la simplificación sin tener en cuenta las direcciones de las fuerzas la expresión se queda del lado de la seguridad. A parte, por el primer procedimiento se observa en la comprobación que se trata de una unión muy ajustada.</p>	Tabla 8.1.
---	------------