

Memoria de Cálculo de Uniones

Obra: Espacios de Promoción de la Producción Autogestiva de Alimentos - E.P.P.A.As - Buenos Aires

Fecha: 09 de diciembre de 2022

Índice

1. Generalidades	1
1.1 Objeto	1
1.2 Materiales	1
1.3 Normas y Reglamentos de aplicación	1
1.4 Criterios de diseño	1
2. Diseño y Cálculo de uniones	1
2.1 Torre tanque	1
2.2 Cabriadas	12
2.3 Vigas longitudinales exteriores (VLE) y viga longitudinal de soporte de estructura para tanque (VLT)	21
2.4 Viga longitudinal central	25
2.5 Columnas	29
2.6 Diagonales rigidizadoras (DL)	37

1 GENERALIDADES

1.1 Objeto

Cálculo y dimensionamiento de las uniones entre los perfiles que componen la estructura metálica de una Pequeña Unidad de Producción de Alimentos Artesanales (PUPAAs) a emplazar en la provincia de Buenos Aires, Argentina.

1.2 Materiales

Perfiles y chapa de Acero calidad	ASTM A36
	$F_y = 24,8 \text{ kN/cm}^2$
	$F_u = 40 \text{ kN/cm}^2$
Correas conformadas en frío	A570 Gr30
Bulones de Alta resistencia calidad	ASTM A325
	$F_u = 82,74 \text{ kN/cm}^2$
Factor de tensión de corte	$K = 0,5$
	$F_v = 41,37 \text{ kN/cm}^2$
Bulones comunes de calidad	ASTM A307
	$F_u = 41,37 \text{ kN/cm}^2$
Factor de tensión de corte	$K = 0,33$
	$F_v = 13,65 \text{ kN/cm}^2$
Electrodo para soldadura	F.E70
	$F.E70 = 49 \text{ kN/cm}^2$

1.3 Normas y Reglamentos de aplicación

CIRSOC 301- Estructuras de acero

1.4 Criterios de diseño

El criterio de diseño para las uniones consistió en poder unir la mayor cantidad de elementos en taller con uniones por soldadura, de manera de minimizar la cantidad de uniones a realizar en obra. Para definir los distintos módulos a ejecutar en taller y luego transportar, se tuvo en cuenta el tamaño y el peso de los mismos, de manera de que sea factible tanto su transporte como su montaje. Respecto a las uniones que deberán ser ejecutadas en obra entre los distintos módulos fabricados, se diseñaron de tipo abulonadas a fin de minimizar las imprecisiones en la ejecución de la unión y evitar la necesidad de mano de obra calificada en campo para la realización de estos trabajos.

A lo largo del documento, se identifican los módulos a ejecutar en taller y se calculan las uniones de los distintos elementos que lo conforman. También se detalla el cálculo de las uniones entre los diferentes módulos fabricados.

Con respecto a los esfuerzos dimensionantes de las diferentes uniones calculadas, los mismos se obtuvieron del modelado realizado.

Los detalles de uniones y los elementos y ejes a los que se hace referencia a lo largo del documento, pueden identificarse en los planos correspondientes en el documento *PUP-010-PL_C - Plano de Estructura*

2 DISEÑO Y CÁLCULO DE UNIONES

2.1 Torre tanque

La torre tanque se diseñó de manera tal de fabricar en taller dos módulos correspondientes a los elementos comprendidos en los ejes 2 y 3, denominados respectivamente M-01 y M-02. Las uniones de estos módulos serán soldadas. Los módulos serán montados y vinculados en obra con los elementos que se ubican en los ejes A y C.

2.1.1 Unión de diagonales de los módulos

Las diagonales se unen a una chapa soldada. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas:

Características del perfil

Sección Perfil L 51x51x6
Material ASTM A36
Espesor de perfil t = 6,3 mm

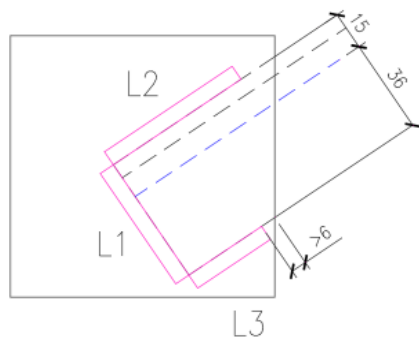
Características de la chapa de nudo

Espesor t.p = 6,3 mm
Material ASTM A36

Esfuerzos de diseño

Tracción: 3,63 kN U6e
Compresión: 4,83 kN U6g
Esfuerzo axial máx: N.máx 4,83 kN

Esquema de unión



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete	d.mín =	3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño máx de la soldadura de filete	d.max =	6 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño adoptado de la soldadura de filete	d =	6 mm	
	t.e = $d \cdot (2^{0.5}) / 2$	4,2 mm	

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.75 \cdot t.e \cdot 0.6 \cdot F.E70 = 9,36 \text{ kN/cm} \\ 0.75 \cdot t.p \cdot 0.6 \cdot F_u = 11,34 \text{ kN/cm} \end{array} \right.$$
$$\phi R_n = 9,36 \text{ kN/cm}$$

Cálculo de soldadura

Lado 1:

Longitud efectiva mínima	Le1.min > 4d =	2,4 cm
	Le1.min >	4,0 cm
	L1 =	5,08 cm
	Le1 =	5,08 cm

Resistencia requerida:	N.max =	4,83 kN
Longitud efectiva necesaria:	Le.necesaria = $N.max / \phi R_n$	0,52 cm

Long de soldadura min adoptada:	Le.min = Le1 =	5,08 cm
---------------------------------	----------------	---------

2.1.2 Unión de marco superior (Marco Sup) a perfiles W (TC)

Los perfiles L se unen a los perfiles W mediante una chapa de unión. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas:

Características del perfil L

Sección **Perfil L 51x51x6**
 Material **ASTM A36**
 Espesor de perfil $t.L = 6,3$ mm

Características de la chapa de nudo

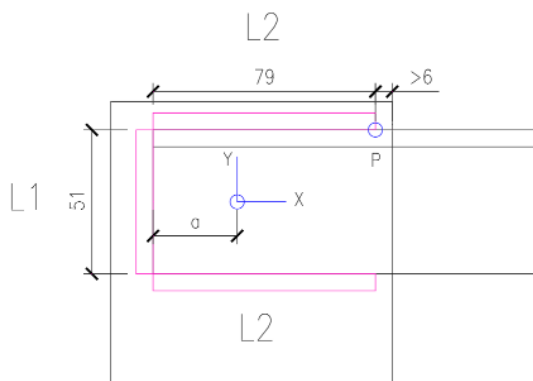
Espesor $t.p = 6,3$ mm
 Material **ASTM A36**

Esfuerzos de diseño

Tracción: **3,63** kN *U6h*
 Compresión: **4,83** kN *U4a*
 Esfuerzo axil máx: N.máx **4,83** kN

Corte Vy max **0,11** kN *U6c*
 Mz max **0,12** kN*m *U6c*
 Corte Vz max **0,06** kN *U4c*
 My max **0,04** kN*m *U4c*

Esquema de unión



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete $d.mín = 3$ mm (*Tabla J.2-4*)
 Tamaño máx de la soldadura de filete $d.max = t - 2mm = 6$ mm (*Tabla J.2-4*)
 Tamaño adoptado de la soldadura de filete $d = 6$ mm
 $t.e = d*(2^{0.5})/2 = 4,2$ mm

$L1 = 51$ mm
 $L2 = 73$ mm

Ubicación del centro de gravedad:

$$a = 2(L2*L2/2)/(2*L2 + L1) = 27 \text{ mm}$$

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.6 * t.e * 0.6 * F.E70 = 7,48 \text{ kN/cm} \\ 0.6 * t.p * 0.6 * F_u = 9,07 \text{ kN/cm} \end{array} \right.$$
$$\phi R_n = 7,48 \text{ kN/cm}$$

Cálculo de esfuerzos sobre la soldadura

Momento de inercia en X	$I_x =$	45 cm ⁴
Momento de inercia en Y	$I_y =$	46 cm ⁴
	$I_p = I_x + I_y =$	91 cm ⁴

Se asume una distribución uniforme de los esfuerzos de normal y corte y se calculan las tensiones en el punto más alejado P:

Tensión por esfuerzo normal:	$f_x.N = N_{max} / [t.e * (2*L2 + L1)] =$	0,58 kN/cm ²
Tensión por corte en Y:	$f_y.V_y = V_y / [t.e * (2*L2 + L1)] =$	0,01 kN/cm ²
Tensión por corte en Z:	$f_z.V_z = V_z / [t.e * (2*L2 + L1)] =$	0,01 kN/cm ²
Tensión en x por Mz:	$f_x.M_z = M_z * (L1/2) / I_p =$	0,34 kN/cm ²
Tensión en y por Mz:	$f_y.M_z = M_z * [(L2-a)/2] / I_p =$	0,30 kN/cm ²
Tensión en z por My:	$f_z.M_y = M_y * [(L2-a)/2] / I_y =$	0,20 kN/cm ²

Esfuerzo resultante de las tensiones:

$$f_u = [\sum f_x^2 + \sum f_y^2 + \sum f_z^2]^{0.5} = 0,99 \text{ kN/cm}^2$$

Tensión de resistencia de la soldadura

$$\phi R_n / t.e = 17,64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Ratio} = f_u / (\phi R_n / t.e) = 0,06 < 1 \quad \text{Verifica}$$

2.1.3 Unión de Perfil w base para tanque (MARCO AGUA) a perfiles columna W (TC)

Los perfiles W que forman parte de la estructura de base de apoyo del tanque se unen a los perfiles W columna mediante unión soldada. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas:

Características del perfil de la base (MARCO AGUA)

Sección	Perfil W 152x12.7
Material	ASTM A36
Espesor mínimo de perf t.W =	4,3 mm

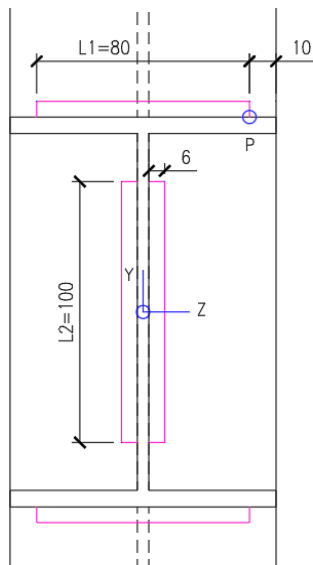
Características de la columna (TC)

Sección	Perfil W 152x12.7
Material	ASTM A36
Espesor en el ala t.p =	4,95 mm

Esfuerzos de diseño

Tracción:	2,97 kN	U6g
Compresión:	2,98 kN	U6c
Esfuerzo axil máx: N.máx	2,98 kN	
Corte Vy max	4,36 kN	U1
Mz max	0,12 kN*m	U1
Corte Vz max	0,66 kN	U6c
My max	0,33 kN*m	U6c

Esquema de unión



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete
Tamaño adoptado de la soldadura de filete

$$\begin{aligned}d_{\text{mín}} &= 3 \text{ mm} & (\text{Tabla J.2-4}) \\d &= 6 \text{ mm} \\t.e &= d \cdot (2^{0.5}) / 2 = 4,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L1 &= 80 \text{ mm} \\L2 &= 100 \text{ mm}\end{aligned}$$

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \quad \left| \quad \phi R_n = 0.6 \cdot t.e \cdot 0.6 \cdot F.E70 = 7,48 \text{ kN/cm}\right.$$

Cálculo de esfuerzos sobre la soldadura

$$\begin{aligned}\text{Momento de inercia en X} & \quad I_x = 453 \text{ cm}^4 \\ \text{Momento de inercia en Y} & \quad I_y = 37 \text{ cm}^4 \\ & \quad I_p = I_x + I_y = 489 \text{ cm}^4\end{aligned}$$

Se asume una distribución uniforme de los esfuerzos de normal y corte y se calculan las tensiones en el punto más alejado P:

$$\begin{aligned}\text{Tensión por esfuerzo normal:} & \quad f_x.N = N_{\text{max}} / [t.e \cdot (2 \cdot L2 + 2 \cdot L1)] = 0,20 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Tensión por corte en Y:} & \quad f_y.V_y = V_y / [t.e \cdot (2 \cdot L2 + 2 \cdot L1)] = 0,37 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Tensión por corte en Z:} & \quad f_z.V_z = V_z / [t.e \cdot (2 \cdot L2 + 2 \cdot L1)] = 0,06 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Tensión en x por } M_z: & \quad f_x.M_z = M_z \cdot 75 \text{ mm} / I_p = 0,18 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Tensión en y por } M_z: & \quad f_y.M_z = M_z \cdot 40 \text{ mm} / I_p = 0,10 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Tensión en z por } M_y: & \quad f_z.M_y = M_y \cdot 40 \text{ mm} / I_y = 3,59 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Esfuerzo resultante de las tensiones:

$$f_u = [\Sigma f_x^2 + \Sigma f_y^2 + \Sigma f_z^2]^{0.5} = 3,70 \text{ kN/cm}^2$$

Tensión de resistencia de la soldadura

$$\phi R_n / t.e = 17,64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Ratio} = f_u / (\phi R_n / t.e) = 0,21 < 1 \quad \text{Verifica}$$

2.1.4 Unión de diagonales de los módulos con marco superior

El marco superior y las diagonales se unen mediante unión abulonada. Se diseña una unión tipo aplastamiento con ajuste sin juego que se proyectan para trabajar por corte el bulón y aplastamiento de la chapa. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas:

Características del perfil

Sección Perfil L 51x51x6
Material ASTM A36
Espesor de perfil $t = 6,3$ mm

Características de la chapa de nudo

Espesor $t.p = 6,3$ mm
Material ASTM A36

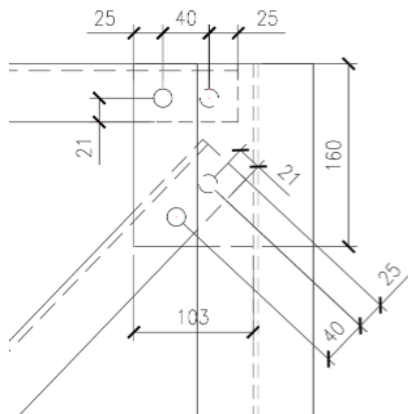
Características de los bulones

Diámetro bulones $d_b = 12,7$ mm
Material ASTM A325
Diámetro de los agujero $d_{ag} = 14,3$ mm

Esfuerzos de diseño

Tracción: $9,25$ kN *U6c*
Compresión: $8,31$ kN *U4b*
Esfuerzo axil máx: N.máx $9,25$ kN

Esquema de unión



Cálculo de unión abulonada

Verificación de la geometría

L máx (150mm, 12t)	L máx=	75,6 mm	
L mín ($//2d$)	L mín=	25,4 mm	
L mín ($\perp 1,5d$)	L mín=	19,1 mm	
S máx (8d, 15t)	S máx=	94,5 mm	
S mín (3d)	S mín=	38,1 mm	
Distancia a borde //	L=	25,4 mm	Verifica
Distancia a borde \perp	L=	21,0 mm	Verifica
Distancia entre bulones	S=	40,0 mm	Verifica

Verificación de corte sobre el bulón más solicitado

$\Phi = 0,75$
 $F_v = 41,37 \text{ kN/cm}^2$
 $A_b = 1,27 \text{ cm}^2$
 $n = 2$
 $m = 1$
 $R_u < \Phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot n \cdot m$
 $R_u < 78,61 \text{ kN}$
 $R_u = 9,25 \text{ kN}$ **Verifica**

Verificación al aplastamiento de la chapa sobre el agujero

$\Phi = 0,75$
 $F_u = 40 \text{ kN/cm}^2$
 $d_b = 12,7 \text{ mm}$
 $n = 2$
 $t = 6,3 \text{ mm}$
 $R_u < \Phi \cdot 2,4 \cdot F_u \cdot d_b \cdot t \cdot n$
 $R_u < 115,21 \text{ kN}$
 $R_u = 9,25 \text{ kN}$ **Verifica**

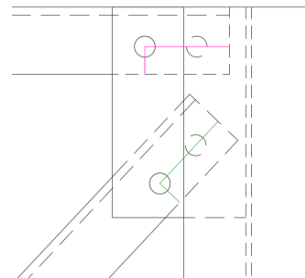
Verificación al desgarramiento

Al verificar aplastamiento de la chapa y separación al borde en sentido del esfuerzo, no resulta necesario realizar esta verificación

Verificación al bloque de corte sobre la chapa

$F_u = 40,0 \text{ kN/cm}^2$
 $F_y = 24,8 \text{ kN/cm}^2$
 $A_{nt} = 1,01 \text{ cm}^2$ Area neta solicitada a tracción
 $A_{nv} = 3,98 \text{ cm}^2$ Area neta solicitada a corte
 $A_{gt} = 1,32 \text{ cm}^2$ Area bruta solicitada a tracción
 $A_{gv} = 5,67 \text{ cm}^2$ Area bruta solicitada a corte
 $\Phi = 0,75$

$F_u \cdot A_{nt} = 40,45 \text{ kN}$
 $0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 95,54 \text{ kN}$



Se calcula la resistencia de diseño a la rotura considerando las siguientes expresiones:

- a) $F_u \cdot A_{nt} > 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ **No aplica**
b) $F_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ **Aplica**
- a) $\Phi R_n = \Phi(0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + F_u \cdot A_{nt})$ **No aplica**
 $\Phi R_n = 93,61 \text{ kN}$
 $R_u = 9,25 \text{ kN}$
- b) $\Phi R_n = \Phi(0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + F_y \cdot A_{gt})$
 $\Phi R_n = 96,26 \text{ kN}$
 $R_u = 9,25 \text{ kN}$ **Verifica**

2.1.5 Unión de perfiles de soporte de tanque (MARCO DE AGUA) con módulo

Los perfiles que soportan el peso del tanque (MARCO de AGUA) se unen a los módulos fabricados en taller mediante unión abulonada. Se diseña una unión tipo aplastamiento con ajuste sin juego que se proyectan para trabajar por corte el bulón y aplastamiento de la chapa. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas:

Características del perfil

Sección Perfil W 152x12.7
Material ASTM A36
Espesor de perfil $t = 4,3$ mm

Características de la chapa de nudo

Espesor $t.p = 6,3$ mm
Material ASTM A36

Características de los bulones

Diámetro bulones $db = 12,7$ mm
Material ASTM A325
Diámetro de los agujero $dag = 14,3$ mm

Esfuerzos de diseño

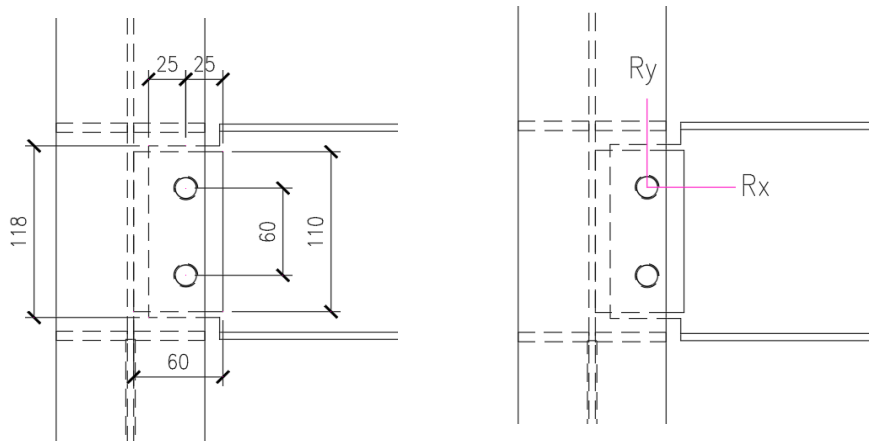
Tracción: $4,85$ kN $U4b$
Compresión: $4,55$ kN $U6c$

Corte V_y max $4,07$ kN $U1$
 M_z max $1,53$ kN*m $U1$

Se descomponen los esfuerzos de diseño y se determinan las máximas reacciones sobre un bulón.

R_x .max: $27,93$ kN
 R_y .max: $2,04$ kN
 $R_{max} = (R_x^2 + R_y^2)^{0.5} = 28,00$ kN

Esquema de unión



Cálculo de unión abulonada

Verificación de la geometría

L máx (150mm, 12t)	L máx=	51,6 mm	
L mín ($//2d$)	L mín=	25,4 mm	
L mín ($\perp 1,5d$)	L mín=	19,1 mm	
S máx (8d, 15t)	S máx=	94,5 mm	
S mín (3d)	S mín=	38,1 mm	
Distancia a borde //	L=	25,4 mm	Verifica
Distancia a borde \perp	L=	25,0 mm	Verifica
Distancia entre bulones	S=	60,0 mm	Verifica

Verificación de corte sobre el bulón más solicitado

$\Phi = 0,75$
 $F_v = 41,37 \text{ kN/cm}^2$
 $A_b = 1,27 \text{ cm}^2$
 $n = 2$
 $m = 1$
 $R_u < \Phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot n \cdot m$
 $R_u < 78,61 \text{ kN}$
 $R_u = 56,00 \text{ kN}$ **Verifica**

Verificación al aplastamiento de la chapa sobre el agujero

$\Phi = 0,75$
 $F_u = 40 \text{ kN/cm}^2$
 $d_b = 12,7 \text{ mm}$
 $n = 2$
 $t = 6,3 \text{ mm}$
 $R_u < \Phi \cdot 2,4 \cdot F_u \cdot d_b \cdot t \cdot n$
 $R_u < 115,21 \text{ kN}$
 $R_u = 55,85 \text{ kN}$ **Verifica**

Verificación al desgarramiento

Al verificar aplastamiento de la chapa y separación al borde en sentido del esfuerzo, no resulta necesario proceder a realizar esta verificación

Verificación al bloque de corte sobre la chapa

$F_u = 40,0 \text{ kN/cm}^2$
 $F_y = 24,8 \text{ kN/cm}^2$
 $A_{nt} = 3,82 \text{ cm}^2$ Area neta solicitada a tracción
 $A_{nv} = 1,06 \text{ cm}^2$ Area neta solicitada a corte
 $A_{gt} = 5,36 \text{ cm}^2$ Area bruta solicitada a tracción
 $A_{gv} = 1,58 \text{ cm}^2$ Area bruta solicitada a corte
 $\Phi = 0,75$

$F_u \cdot A_{nt} = 152,63 \text{ kN}$
 $0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 25,49 \text{ kN}$

Se calcula la resistencia de diseño a la rotura considerando las siguientes expresiones:

- a) $F_u \cdot A_{nt} > 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ **Aplica**
b) $F_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ **No aplica**

- a) $\Phi R_n = \Phi(0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + F_u \cdot A_{nt})$
 $\Phi R_n = 132,05 \text{ kN}$
 $R_u = 28,00 \text{ kN}$ **Verifica**

- b) $\Phi R_n = \Phi(0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + F_y \cdot A_{gt})$
 $\Phi R_n = 118,72 \text{ kN}$
 $R_u = 28,00 \text{ kN}$ **No aplica**

2.1.6 Unión de apoyo de perfiles columna de la estructura de soporte de tanque (TC)

Las placas de apoyo de los perfiles que soportan la estructura para soporte del tanque de agua (TC) se unen mediante unión abulonada a otra placa. Se diseña una unión tipo aplastamiento con ajuste sin juego que se proyectan para trabajar por corte el bulón y aplastamiento de la chapa. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas:

Características de la chapa del módulo de estructura de soporte de tanque

Espesor $t = 12,7$ mm
Material **ASTM A36**

Características de la chapa de apoyo

Espesor $t.p = 12,7$ mm
Material **ASTM A36**

Características de los bulones

Diámetro bulones $db = 12,7$ mm
Material **ASTM A325**
Diámetro de los agujero $dag = 14,3$ mm

Esfuerzos de diseño

Tracción: 8 kN *U6b*
Compresión: $12,96$ kN *U6c*

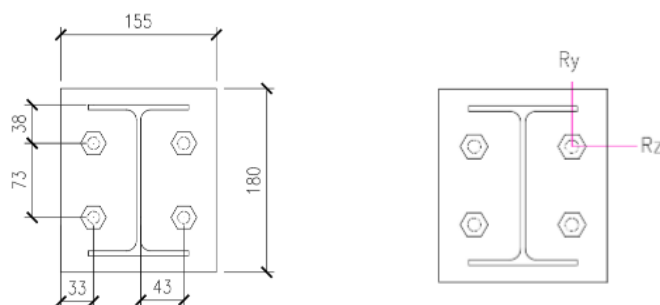
Corte V_y max $1,42$ kN *U4h*
 M_z max $0,90$ kN*m *U1*

Corte V_z max $2,35$ kN *U4b*
 M_y max $0,67$ kN*m *U4b*

Se descomponen los esfuerzos de diseño y se determinan las máximas reacciones sobre un bulón

R_x .max: $13,99$ kN
 R_y .max: $0,36$ kN
 R_z .max: $0,59$ kN
 $R_{yz}.max = (R_y^2 + R_z^2)^{0.5} = 0,69$ kN

Esquema de unión



Cálculo de unión abulonada

Verificación de la geometría

$L_{\text{máx}} (150\text{mm}, 12t)$ $L_{\text{máx}} = 150,0$ mm
 $L_{\text{mín}} (l/2d)$ $L_{\text{mín}} = 25,4$ mm

L mín (1,5d)	L mín=	19,1 mm	
S máx (8d, 15t)	S máx=	94,5 mm	
S mín (3d)	S mín=	38,1 mm	
Distancia a borde //	L=	33,0 mm	Verifica
Distancia a borde ⊥	L=	38,0 mm	Verifica
Distancia entre bulones	S=	73,0 mm	Verifica

Verificación de corte sobre los bulones

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_v &= 41,37 \text{ kN/cm}^2 \\ A_b &= 1,27 \text{ cm}^2 \\ n &= 4 \\ m &= 1 \\ R_u &< \Phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot n \cdot m \\ R_u &< 157,22 \text{ kN} \\ R_u &= 2,75 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación de tracción sobre los bulones

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_u &= 82,74 \text{ kN/cm}^2 \\ F_n &= 62,06 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{Tensión neta de tracción nominal} \\ A_b &= 1,27 \text{ cm}^2 \\ n &= 4 \\ m &= 1 \\ R_u &< \Phi \cdot F_n \cdot A_b \cdot n \cdot m \\ R_u &< 236,43 \text{ kN} \\ R_u &= 55,97 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación de tracción y corte sobre los bulones

Para verificar la resistencia a tracción y corte combinado sobre un bulón, se obtiene la tensión de tracción nominal límite F_t en función de la tensión de corte sobre un bulón producida por las cargas mayoradas.

$\begin{aligned}F_{nt} &= 59,11 \text{ kN} \\ F_{nv} &= 39,30 \text{ kN} \\ f_v &= 0,69 \text{ kN}\end{aligned}$	<i>Esfuerzos analizados sobre el bulón más solicitado</i>
--	---

$$f_t < \Phi \cdot (F_{nt}^2 - (F_{nt} / (\Phi \cdot F_{nv}))^2 \cdot f_v^2) \quad \text{s/ sección J.3.7 CIRSOC 301}$$

$$\begin{aligned}f_t &< 44,32 \text{ kN} \\ f_t &= 13,99 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación al aplastamiento de la chapa sobre el agujero

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_u &= 40,0 \text{ kN/cm}^2 \\ d_b &= 12,7 \text{ mm} \\ n &= 4 \\ m &= 1 \\ t &= 12,7 \text{ mm} \\ R_u &< \Phi \cdot 2,4 \cdot F_u \cdot d_b \cdot t \cdot n \cdot m \\ R_u &< 464,52 \text{ kN} \\ R_u &= 55,97 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación al desgarramiento

Al verificar aplastamiento de la chapa y separación al borde en sentido del esfuerzo, no resulta necesario a realizar esta verificación

2.2 Cabriadas

Las cabriadas se diseñaron de manera tal de fabricarlas en taller. Las uniones entre los perfiles de la cabriada serán soldadas. Los módulos serán montados y vinculados en obra con el resto de la estructura

2.2.1 Unión de montantes (CAB_MONT) a chapa de nudo

Los perfiles 2L se unen una chapa de nudo. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y la menor longitud de soldadura adoptada. Se considera la mitad de los esfuerzos obtenidos para el análisis de la unión a la chapa de cada perfil ángulo.

Características del perfil L

Sección Perfil L 51x51x6
Material ASTM A36
Espesor de perfil t.L = 6,3 mm

Características de la chapa de nudo

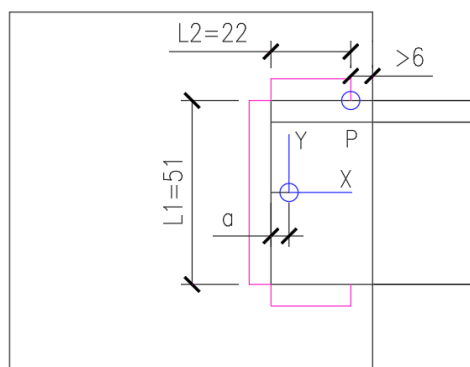
Espesor t.p = 12,7 mm
Material ASTM A36

Esfuerzos de diseño

Tracción: 8,92 kN U6a
Compresión: -7,11 kN U4d
Esfuerzo axil máx: N.máx 8,92 kN

Corte Vy max 1,71 kN U4h
Mz max 0,30 kN*m U4h
Corte Vz max 0,28 kN U4a
My max 0,14 kN*m U4a

Esquema de unión



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete d.mín = 3 mm (Tabla J.2-4)
Tamaño máx de la soldadura de filete d.max = t - 2mm = 6 mm (Tabla J.2-4)
Tamaño adoptado de la soldadura de filete d = 6 mm
t.e = d*(2^0.5)/2 = 4,2 mm

$$L1 = 51 \text{ mm}$$

$$L2 = 22 \text{ mm}$$

Ubicación del centro de gravedad:

$$a = 2(L2 * L2 / 2) / (2 * L2 + L1) = 5 \text{ mm}$$

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.6 * t.e * 0.6 * F.E70 = 7,48 \text{ kN/cm} \\ 0.6 * t.p * 0.6 * F_u = 18,29 \text{ kN/cm} \end{array} \right.$$

$$\phi R_n = 7,48 \text{ kN/cm}$$

Cálculo de esfuerzos sobre la soldadura

Momento de inercia en X $I_x = 17 \text{ cm}^4$

Momento de inercia en Y $I_y = 2 \text{ cm}^4$

$I_p = I_x + I_y = 19 \text{ cm}^4$

Se asume una distribución uniforme de los esfuerzos de normal y corte y se calculan las tensiones en el punto más alejado P:

Tensión por esfuerzo normal: $f_x.N = N_{max} / [t.e * (2 * L2 + L1)] = 2,21 \text{ kN/cm}^2$

Tensión por corte en Y: $f_y.V_y = V_y / [t.e * (2 * L2 + L1)] = 0,42 \text{ kN/cm}^2$

Tensión por corte en Z: $f_z.V_z = V_z / [t.e * (2 * L2 + L1)] = 0,07 \text{ kN/cm}^2$

Tensión en x por Mz: $f_x.M_z = M_z * (L1/2) / I_p = 4,00 \text{ kN/cm}^2$

Tensión en y por Mz: $f_y.M_z = M_z * [(L2-a)/2] / I_p = 1,33 \text{ kN/cm}^2$

Tensión en z por My: $f_z.M_y = M_y * [(L2-a)/2] / I_y = 6,02 \text{ kN/cm}^2$

Esfuerzo resultante de las tensiones:

$$f_u = [\Sigma f_x^2 + \Sigma f_y^2 + \Sigma f_z^2]^{0.5} = 8,88 \text{ kN/cm}^2$$

Tensión de resistencia de la soldadura

$$\phi R_n / t.e = 17,64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Ratio} = f_u / (\phi R_n / t.e) = 0,50 < 1 \quad \text{Verifica}$$

2.2.2 Unión de diagonales (CAB_DIAG) a cordón superior e inferior (CAB_CS y CAB_CI)

Los perfiles 2L que conforman las diagonales de las cabriadas se unen a los perfiles 2L que conforman el cordón superior e inferior. De manera conservadora se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y la menor longitud de soldadura. Se consideran la mitad de los esfuerzos obtenidos para el análisis de la unión de cada perfil ángulo.

Características del perfil L de la diagonal

Sección **Perfil L 51x51x6**

Material **ASTM A36**

Espesor de perfil $t.L.diag = 6,3 \text{ mm}$

Características del perfil L del cordón superior e inferior

Sección **Perfil L 76x76x13**

Material **ASTM A36**

Espesor $t.L.cordón = 13 \text{ mm}$

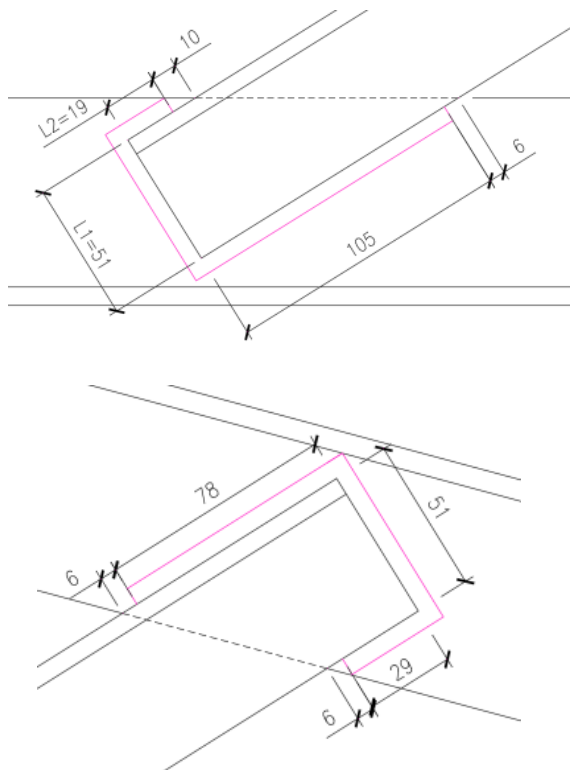
Esfuerzos de diseño

Tracción: **26,4 kN** *U4b*

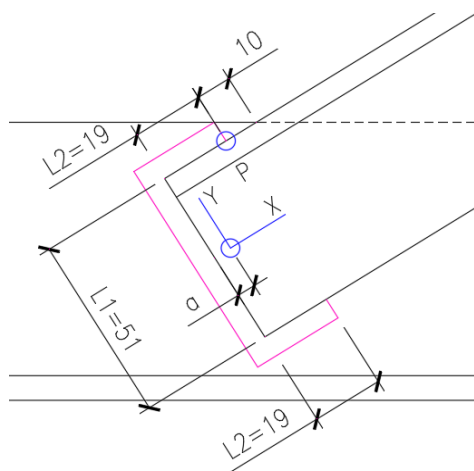
Compresión: **23,86 kN** *U6a*

Esfuerzo axil máx: N.máx	26,4 kN	
Corte Vy max	0,175 kN	U4h
Mz max	0,15 kN*m	U4g
Corte Vz max	0,075 kN	U4g
My max	0,05 kN*m	U4b

Esquema de unión



Esquema considerado para verificar el diseño



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete	d.mín =	3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño máx de la soldadura de filete	d.max = t - 2mm =	6 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño adoptado de la soldadura de filete	d =	6 mm	
	t.e = $d \cdot (2^{0.5}) / 2 =$	4,2 mm	
	L1 =	51 mm	

$$L2 = 19 \text{ mm}$$

Ubicación del centro de gravedad:

$$a = 2(L2 * L2 / 2) / (2 * L2 + L1) = 4 \text{ mm}$$

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.6 * t.e * 0.6 * F.E70 = 7,48 \text{ kN/cm} \\ 0.6 * t.L.diag * 0.6 * F_u = 9,07 \text{ kN/cm} \end{array} \right.$$

$$\phi R_n = 7,48 \text{ kN/cm}$$

Cálculo de esfuerzos sobre la soldadura

$$\begin{array}{ll} \text{Momento de inercia en X} & I_x = 15 \text{ cm}^4 \\ \text{Momento de inercia en Y} & I_y = 1 \text{ cm}^4 \\ & I_p = I_x + I_y = 16 \text{ cm}^4 \end{array}$$

Se asume una distribución uniforme de los esfuerzos de normal y corte y se calculan las tensiones en el punto más alejado P:

$$\begin{array}{ll} \text{Tensión por esfuerzo normal:} & f_x.N = N_{max} / [t.e * (2 * L2 + L1)] = 6,99 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Tensión por corte en Y:} & f_y.V_y = V_y / [t.e * (2 * L2 + L1)] = 0,05 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Tensión por corte en Z:} & f_z.V_z = V_z / [t.e * (2 * L2 + L1)] = 0,02 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Tensión en x por Mz:} & f_x.M_z = M_z * (L1/2) / I_p = 2,32 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Tensión en y por Mz:} & f_y.M_z = M_z * [(L2-a)/2] / I_p = 0,68 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Tensión en z por My:} & f_z.M_y = M_y * [(L2-a)/2] / I_y = 2,83 \text{ kN/cm}^2 \end{array}$$

Esfuerzo resultante de las tensiones:

$$f_u = [\Sigma f_x^2 + \Sigma f_y^2 + \Sigma f_z^2]^{0.5} = 9,77 \text{ kN/cm}^2$$

Tensión de resistencia de la soldadura

$$\phi R_n / t.e = 17,64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Ratio} = f_u / (\phi R_n / t.e) = 0,55 < 1 \quad \text{Verifica}$$

2.2.3 Unión de cordón inferior o superior (CAB_CI o CAB_CS) a chapa de nudo (perfil continuo)

Los perfiles 2L que conforman el cordón inferior de las cabriadas se unen a la estructura con uniones soldadas a chapas de nudo. De manera conservadora se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y la menor longitud de soldadura. Se consideran la mitad de los esfuerzos obtenidos para el análisis de la unión de cada perfil ángulo y la mitad de la longitud total soldada.

Características del perfil L de la diagonal

$$\begin{array}{ll} \text{Sección} & \text{Perfil L 76x76x13} \\ \text{Material} & \text{ASTM A36} \\ \text{Espesor de perfil} & t = 13 \text{ mm} \end{array}$$

Características de la chapa de nudo

$$\begin{array}{ll} \text{Material} & \text{ASTM A36} \\ \text{Espesor} & t.p = 13 \text{ mm} \end{array}$$

Esfuerzos de diseño

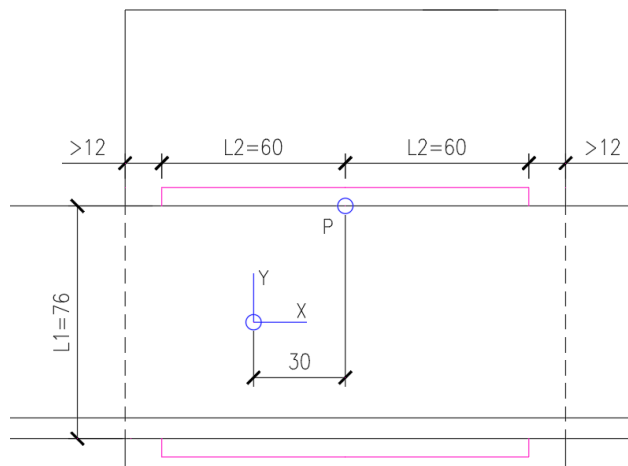
$$\begin{array}{lll} \text{Tracción:} & 28,89 \text{ kN} & U4d \\ \text{Compresión:} & 28,17 \text{ kN} & U4a \\ \text{Esfuerzo axil máx: N.máx} & 28,89 \text{ kN} & \end{array}$$

Corte V_y max	2,54 kN	U4c
Mz max	1,68 kN*m	U6b
Corte V_z max	2,88 kN	U6g
My max	1,44 kN*m	U3f

Esquema de unión

Esquema 1 - Cordón continuo

Se considera la mitad de la longitud efectiva de soldadura para verificar la unión de cada miembro



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete	d.mín =	3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño máx de la soldadura de filete	d.max = t - 2mm =	13 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño adoptado de la soldadura de filete	d =	12 mm	
	t.e = $d \cdot (2^{0.5}) / 2$ =	8,5 mm	
	L1 =	76 mm	
	L2 =	60 mm	

Ubicación del centro de gravedad:

$$a = L2/2 = 30 \text{ mm}$$

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.6 \cdot t.e \cdot 0.6 \cdot F.E70 = 14,97 \text{ kN/cm} \\ 0.6 \cdot t \cdot 0.6 \cdot F_u = 18,72 \text{ kN/cm} \end{array} \right.$$

$$\phi R_n = 14,97 \text{ kN/cm}$$

Cálculo de esfuerzos sobre la soldadura

Momento de inercia en X	Ix =	148 cm ⁴
Momento de inercia en Y	Iy =	31 cm ⁴
	Ip = Ix + Iy =	178 cm ⁴

Se asume una distribución uniforme de los esfuerzos de normal y corte y se calculan las tensiones en el punto más alejado P:

Tensión por esfuerzo normal:	$f_x.N = N_{max} / [t.e \cdot 2 \cdot L2] =$	2,84 kN/cm ²
Tensión por corte en Y:	$f_y.V_y = V_y / [t.e \cdot 2 \cdot L2] =$	0,25 kN/cm ²
Tensión por corte en Z:	$f_z.V_z = V_z / [t.e \cdot 2 \cdot L2] =$	0,28 kN/cm ²

Tensión en x por Mz:	$f_x.Mz = Mz*(L1/2) / I_p =$	3,58 kN/cm ²
Tensión en y por Mz:	$f_y.Mz = Mz*[L2/2] / I_p =$	2,83 kN/cm ²
Tensión en z por My:	$f_z.My = My*[L2/2] / I_y =$	14,14 kN/cm ²

Esfuerzo resultante de las tensiones:

$$f_u = [\Sigma f_x^2 + \Sigma f_y^2 + \Sigma f_z^2]^{0.5} = 16,09 \text{ kN/cm}^2$$

Tensión de resistencia de la soldadura

$$\phi R_n / t.e = 17,64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Ratio} = f_u / (\phi R_n / t.e) = 0,91 < 1 \quad \text{Verifica}$$

2.2.4 Unión de cordón inferior o superior (CAB_CI o CAB_CS) a chapa de nudo (extremos)

Los perfiles 2L que conforman el cordón inferior de las cabriadas se unen a la estructura con uniones soldadas a chapas de nudo. De manera conservadora se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y la menor longitud de soldadura. Se consideran la mitad de los esfuerzos obtenidos para el análisis de la unión de cada perfil ángulo.

Características del perfil L

Sección	Perfil L 76x76x13
Material	ASTM A36
Espesor de perfil	t.L = 13 mm

Características de la chapa de nudo

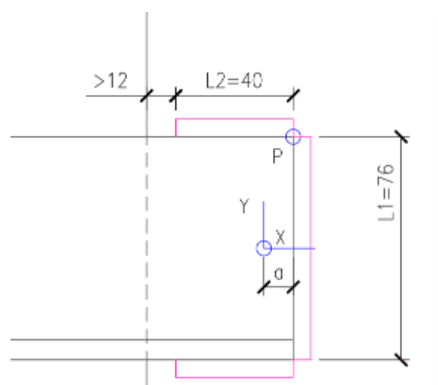
Espesor	t.p = 13 mm
Material	ASTM A36

Esfuerzos de diseño

Tracción:	28,89 kN	U6a
Compresión:	28,17 kN	U4d
Esfuerzo axil máx: N.máx	28,89 kN	

Corte Vy max	2,54 kN	U4h
Mz max	1,68 kN*m	U4h
Corte Vz max	2,09 kN	U4a
My max	1,32 kN*m	U4a

Esquema de unión



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete	d.mín =	3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño máx de la soldadura de filete	d.max = t - 2mm =	13 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño adoptado de la soldadura de filete	d =	12 mm	
	t.e = d*(2^0.5)/2 =	8,5 mm	
	L1 =	76 mm	
	L2 =	40 mm	

Ubicación del centro de gravedad:

$$a = 2(L2*L2/2)/(2*L2 + L1) = 10 \text{ mm}$$

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.6 * t.e * 0.6 * F.E70 = 14,97 \text{ kN/cm} \\ 0.6 * t.p * 0.6 * F_u = 18,29 \text{ kN/cm} \end{array} \right.$$
$$\phi R_n = 14,97 \text{ kN/cm}$$

Cálculo de esfuerzos sobre la soldadura

Momento de inercia en X	Ix =	129 cm4
Momento de inercia en Y	Iy =	22 cm4
	Ip = Ix + Iy =	151 cm4

Se asume una distribución uniforme de los esfuerzos de normal y corte y se calculan las tensiones en el punto más alejado P:

Tensión por esfuerzo normal:	fx.N = Nmax / [t.e * (2*L2 + L1)] =	2,18 kN/cm2
Tensión por corte en Y:	fy.Vy = Vy / [t.e * (2*L2 + L1)] =	0,19 kN/cm2
Tensión por corte en Z:	fz.Vz = Vz / [t.e * (2*L2 + L1)] =	0,16 kN/cm2
Tensión en x por Mz:	fx.Mz = Mz*(L1/2) / Ip =	4,22 kN/cm2
Tensión en y por Mz:	fy.Mz = Mz*[(L2-a)/2] / Ip =	1,65 kN/cm2
Tensión en z por My:	fz.My = My*[(L2-a)/2] / Iy =	8,78 kN/cm2

Esfuerzo resultante de las tensiones:

$$f_u = [\Sigma f_x^2 + \Sigma f_y^2 + \Sigma f_z^2]^{0.5} = 11,14 \text{ kN/cm2}$$

Tensión de resistencia de la soldadura

$$\phi R_n / t.e = 17,64 \text{ kN/cm2}$$

$$\text{Ratio} = f_u / (\phi R_n / t.e) = 0,63 < 1 \quad \text{Verifica}$$

2.2.5 Unión de cordón inferior o superior (CAB_CI o CAB_CS) a chapa de nudo en Cabriada sobre Eje B

En el presente apartado se verifican las uniones abulonadas correspondientes a los miembros del cordón superior e inferior de la cabriada que se ubica en el Eje B. Se diseña una unión tipo aplastamiento con ajuste sin juego que se proyectan para trabajar por corte el bulón y aplastamiento de la chapa. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas:

Características del perfil

Sección	Perfil T2L 76x76x13
Material	ASTM A36
Espesor de perfil	t = 13,0 mm

Características de la chapa de nudo

Espesor	t.p = 12,7 mm
---------	---------------

Material **ASTM A36**

Características de los bulones

Diámetro bulones db = **12,7** mm

Material **ASTM A325**

Diámetro de los agujero dag = **14,3** mm

Esfuerzos de diseño

Tracción: **3,73** kN **U4g**

Compresión: **6,47** kN **U3d**

Corte Vy max **5,07** kN **U4c**

Mz max **3,33** kN*m **U6c**

Corte Vz max **1,43** kN **U1**

My max **0,77** kN*m **U1**

Se descomponen los esfuerzos de diseño y se determinan las máximas reacciones sobre un bulón

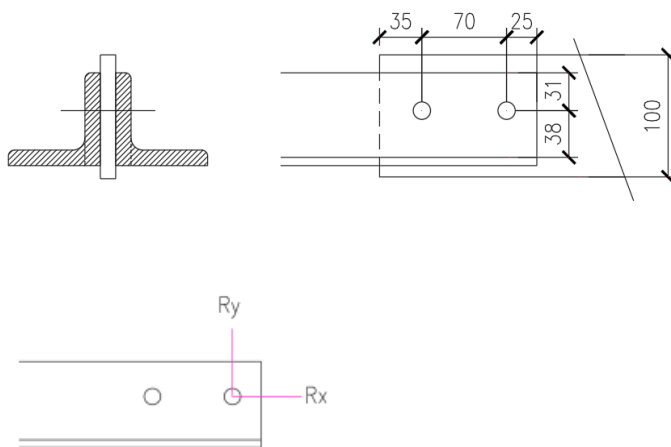
Rz.max: 11,72 kN

Ry.max: 50,11 kN

Rx.max: 6,47 kN

$R_{xy}.max = (R_y^2 + R_z^2)^{0.5} = 50,52$ kN

Esquema de unión



Cálculo de unión abulonada

Verificación de la geometría

L máx (150mm, 12t)	L máx=	150,0	mm	
L mín (//2d)	L mín=	25,4	mm	
L mín (⊥1,5d)	L mín=	19,1	mm	
S máx (8d, 15t)	S máx=	101,6	mm	
S mín (3d)	S mín=	38,1	mm	
Distancia a borde //	L=	35,0	mm	Verifica
Distancia a borde ⊥	L=	38,0	mm	Verifica
Distancia entre bulones	S=	70,0	mm	Verifica

Verificación de corte sobre los bulones

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_v &= 41,37 \text{ kN/cm}^2 \\ A_b &= 1,27 \text{ cm}^2 \\ n &= 2 \\ m &= 1 \\ R_u &< \Phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot n \cdot m \\ R_u &< 78,61 \text{ kN} \\ R_u &= 50,52 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación de tracción sobre los bulones

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_u &= 82,74 \text{ kN/cm}^2 \\ F_n &= 62,06 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{Tensión neta de tracción nominal} \\ A_b &= 1,27 \text{ cm}^2 \\ n &= 2 \\ m &= 1 \\ R_u &< \Phi \cdot F_n \cdot A_b \cdot n \cdot m \\ R_u &< 118,21 \text{ kN} \\ R_u &= 23,43 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación de tracción y corte sobre los bulones

Para verificar la resistencia a tracción y corte combinado sobre un bulón, se obtiene la tensión de tracción nominal límite F_t en función de la tensión de corte sobre un bulón producida por las cargas mayoradas.

$$\begin{array}{l|l} \begin{aligned} F_{nt} &= 59,11 \text{ kN} \\ F_{nv} &= 39,30 \text{ kN} \\ f_v &= 25,26 \text{ kN} \end{aligned} & \text{Esfuerzos analizados sobre el bulón más solicitado} \end{array}$$

$$f_t < \Phi \cdot (F_{nt}^2 - (F_{nt} / (\Phi \cdot F_{nv}))^2 \cdot f_v^2) \quad \text{s/ sección J.3.7 CIRSOC 301}$$

$$\begin{aligned}f_t &< 22,85 \text{ kN} \\ f_t &= 11,72 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación al aplastamiento de la chapa sobre el agujero

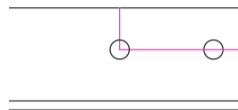
$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_u &= 40,0 \text{ kN/cm}^2 \\ d_b &= 12,7 \text{ mm} \\ n &= 2 \\ m &= 1 \\ t &= 12,7 \text{ mm} \\ R_u &< \Phi \cdot 2,4 \cdot F_u \cdot d_b \cdot t \cdot n \cdot m \\ R_u &< 232,26 \text{ kN} \\ R_u &= 101,04 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación al desgarramiento

Al verificar aplastamiento de la chapa y separación al borde en sentido del esfuerzo, no resulta necesario a realizar esta verificación

Verificación al bloque de corte sobre la chapa

$F_u = 40,0 \text{ kN/cm}^2$
 $F_y = 24,8 \text{ kN/cm}^2$
 $A_{nt} = 10,00 \text{ cm}^2$ Area neta solicitada a tracción
 $A_{nv} = 2,90 \text{ cm}^2$ Area neta solicitada a corte
 $A_{gt} = 12,07 \text{ cm}^2$ Area bruta solicitada a tracción
 $A_{gv} = 3,94 \text{ cm}^2$ Area bruta solicitada a corte
 $\Phi = 0,75$



$F_u.A_{nt} = 399,86 \text{ kN}$
 $0,6.F_u.A_{nv} = 69,67 \text{ kN}$

Se calcula la resistencia de diseño a la rotura considerando las siguientes expresiones:

- a) $F_u.A_{nt} > 0,6.F_u.A_{nv}$ **Aplica**
 b) $F_u.A_{nt} < 0,6.F_u.A_{nv}$ **No aplica**

- a) $\Phi R_n = \Phi(0,6.F_y.A_{gv} + F_u.A_{nt})$
 $\Phi R_n = 343,83 \text{ kN}$
 $R_u = 50,11 \text{ kN}$ **Verifica**

- b) $\Phi R_n = \Phi(0,6.F_u.A_{nv} + F_y.A_{gt})$
 $\Phi R_n = 276,66 \text{ kN}$
 $R_u = 50,11 \text{ kN}$ **No aplica**

2.3 Vigas longitudinales exteriores (VLE) y viga longitudinal de soporte de estructura para tanque (VLT)

Se diseñaron las vigas longitudinales de manera tal de fabricar los tramos entre columnas en taller con uniones soldadas, para luego transportarlos y montar estos módulos a las columnas con uniones abulonadas.

2.3.1 Unión de diagonales (VLE_DIAG y VLT_DIAG) a cordón superior e inferior (VLE_CORD y VLT_CORD) de la viga.

Los perfiles L que conforman las diagonales de la viga se unen a la estructura con uniones soldadas a los perfiles. De manera conservadora se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y la menor longitud de soldadura.

Características del perfil diagonal

Sección **Perfil L 51x51x6**
 Material **ASTM A36**
 Espesor de perfil $t.p = 6,3 \text{ mm}$

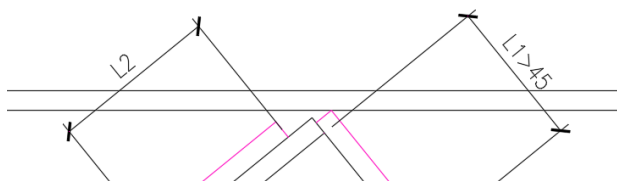
Características del perfil del cordón superior e inferior

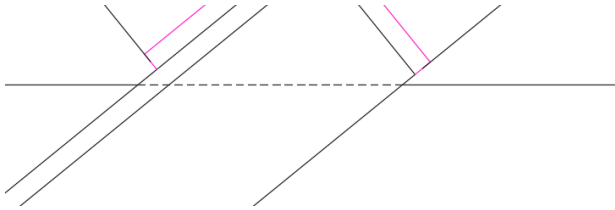
Sección **Perfil 2L 51x51x6**
 Material **ASTM A36**
 Espesor $t.p = 6,3 \text{ mm}$

Esfuerzos de diseño

Tracción: **11,66 kN** *U6g*
 Compresión: **4,73 kN** *U4e*
 Esfuerzo axil máx: N.máx **11,66 kN**

Esquema de unión





Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete	d.mín =	3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño máx de la soldadura de filete	d.max =	6,3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño adoptado de la soldadura de filete	d =	6 mm	
	t.e = $d \cdot (2^{0.5}) / 2$	4,2 mm	

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.75 \cdot t.e \cdot 0.6 \cdot F.E70 = 9,36 \text{ kN/cm} \\ 0.75 \cdot t.p \cdot 0.6 \cdot F_u = 11,34 \text{ kN/cm} \end{array} \right.$$

$$\phi R_n = 9,36 \text{ kN/cm}$$

Cálculo de soldadura

Lado 1:

Longitud efectiva mínima	Le1.min > 4d =	2,4 cm
	Le1.min >	4,0 cm
	L1 >	4,50 cm
	Le1 =	4,50 cm

Resistencia requerida:	N.max =	11,66 kN
Longitud efectiva necesaria:	Le.necesaria = N.max / ϕR_n =	1,25 cm

Long de soldadura min adoptada:	Le.min = Le1 =	4,50 cm
---------------------------------	----------------	---------

$$Le.necesaria < Le.1 \quad \text{Verifica}$$

2.3.2 Unión de montantes (VLE_MONT y VLT_MONT) a cordón superior e inferior (VLE_CORD y VLT_CORD) de la viga.

Los perfiles L que conforman las montantes de la viga se unen a la estructura con uniones soldadas a los perfiles. De manera conservadora se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y la menor longitud de soldadura.

Características del perfil montante

Sección	Perfil L 51x51x6
Material	ASTM A36
Espesor de perfil	t.p = 6,3 mm

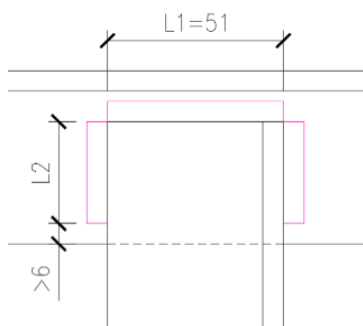
Características del perfil del cordón superior e inferior

Sección	Perfil 2L 51x51x6
Material	ASTM A36
Espesor	t.p = 6,3 mm

Esfuerzos de diseño

Tracción:	4,78 kN	U4b
Compresión:	5,11 kN	U4e
Esfuerzo axil máx: N.máx	5,11 kN	

Esquema de unión



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete	d.mín =	3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño máx de la soldadura de filete	d.max =	6,3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño adoptado de la soldadura de filete	d =	6 mm	
	t.e = $d \cdot (2^{0.5}) / 2$	4,2 mm	

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.75 \cdot t.e \cdot 0.6 \cdot F.E70 = 9,36 \text{ kN/cm} \\ 0.75 \cdot t.p \cdot 0.6 \cdot F_u = 11,34 \text{ kN/cm} \end{array} \right.$$
$$\phi R_n = 9,36 \text{ kN/cm}$$

Cálculo de soldadura

Lado 1:

$$\text{Longitud efectiva mínima} \left\{ \begin{array}{l} Le1.min > 4d = 2,4 \text{ cm} \\ Le1.min > 4,0 \text{ cm} \end{array} \right.$$
$$L1 > 5,10 \text{ cm}$$
$$Le1 = 5,10 \text{ cm}$$

$$\text{Resistencia requerida: } N.max = 5,11 \text{ kN}$$
$$\text{Longitud efectiva necesaria: } Le.necesaria = N.max / \phi R_n = 0,55 \text{ cm}$$

$$\text{Long de soldadura min adoptada: } Le.min = Le1 = 5,10 \text{ cm}$$

$$Le.necesaria < Le.1 \quad \text{Verifica}$$

2.3.3 Uniones abulonadas de cordón superior e inferior de vigas longitudinales exteriores (VLE_CORD)

En el presente apartado se verifican las uniones abulonadas correspondientes a los miembros del cordón superior e inferior de la viga. Se diseña una unión tipo aplastamiento con ajuste sin juego que se proyectan para trabajar por corte el bulón y aplastamiento de la chapa. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas:

Características del perfil

Sección	Perfil T2L 51x51x6
Material	ASTM A36
Espesor de perfil	t = 6,3 mm

Características de la chapa de nudo

Espesor $t.p = 12,7$ mm
Material **ASTM A36**

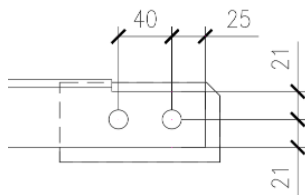
Características de los bulones

Diámetro bulones $db = 12,7$ mm
Material **ASTM A325**
Diámetro de los agujero $dag = 14,3$ mm

Esfuerzos de diseño

Tracción: **9,76** kN *U6h*
Compresión: **15,34** kN *U6e*
Esfuerzo normal máx: **15,34** kN

Esquema de unión



Cálculo de unión abulonada

Verificación de la geometría

L máx (150mm, 12t)	L máx=	75,6 mm	
L mín (//2d)	L mín=	25,4 mm	
L mín ($\perp 1,5d$)	L mín=	19,1 mm	
S máx (8d, 15t)	S máx=	101,6 mm	
S mín (3d)	S mín=	38,1 mm	
Distancia a borde //	L=	25,4 mm	Verifica
Distancia a borde \perp	L=	21,0 mm	Verifica
Distancia entre bulones	S=	40,0 mm	Verifica

Verificación de corte sobre los bulones

$\Phi = 0,75$
 $F_v = 41,37$ kN/cm²
 $A_b = 1,27$ cm²
 $n = 2$
 $m = 1$
 $R_u < \Phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot n \cdot m$
 $R_u < 78,61$ kN
 $R_u = 15,34$ kN **Verifica**

Verificación al aplastamiento de la chapa sobre el agujero

$\Phi = 0,75$

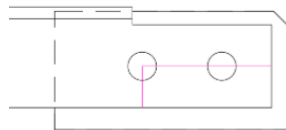
$F_u = 40,0 \text{ kN/cm}^2$
 $d_b = 12,7 \text{ mm}$
 $n = 2$
 $m = 1$
 $t = 12,7 \text{ mm}$
 $R_u < \Phi \cdot 2,4 \cdot F_u \cdot d_b \cdot t \cdot n \cdot m$
 $R_u < 232,26 \text{ kN}$
 $R_u = 15,34 \text{ kN}$ **Verifica**

Verificación al desgarramiento

Al verificar aplastamiento de la chapa y separación al borde en sentido del esfuerzo, no resulta necesario a realizar esta verificación

Verificación al bloque de corte sobre la chapa

$F_u = 40,0 \text{ kN/cm}^2$
 $F_y = 24,8 \text{ kN/cm}^2$
 $A_{nt} = 1,63 \text{ cm}^2$ Area neta solicitada a tracción
 $A_{nv} = 5,15 \text{ cm}^2$ Area neta solicitada a corte
 $A_{gt} = 2,67 \text{ cm}^2$ Area bruta solicitada a tracción
 $A_{gv} = 8,26 \text{ cm}^2$ Area bruta solicitada a corte
 $\Phi = 0,75$



$F_u \cdot A_{nt} = 65,31 \text{ kN}$
 $0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 123,65 \text{ kN}$

Se calcula la resistencia de diseño a la rotura considerando las siguientes expresiones:

- a) $F_u \cdot A_{nt} > 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ **No aplica**
 b) $F_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ **Aplica**
- a) $\Phi R_n = \Phi(0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + F_u \cdot A_{nt})$
 $\Phi R_n = 141,11 \text{ kN}$
 $R_u = 15,34 \text{ kN}$ **No aplica**
- b) $\Phi R_n = \Phi(0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + F_y \cdot A_{gt})$
 $\Phi R_n = 142,35 \text{ kN}$
 $R_u = 15,34 \text{ kN}$ **Verifica**

2.4 Viga longitudinal central

Se diseñaron las vigas longitudinales de manera tal de fabricar los tramos entre columnas en taller con uniones soldadas, para luego transportarlos y montar estos módulos a las columnas con uniones abulonadas.

2.4.1 Unión de diagonales (VLC_DIAG) a cordón superior e inferior (VLC_CORD) de la viga.

Los perfiles L que conforman las diagonales de la viga se unen a la estructura con uniones soldadas a los perfiles. De manera conservadora se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y la menor longitud de soldadura.

Características del perfil diagonal

Sección **Perfil L 51x51x6**
 Material **ASTM A36**
 Espesor de perfil $t.p = 6,3 \text{ mm}$

Características del perfil del cordón superior e inferior

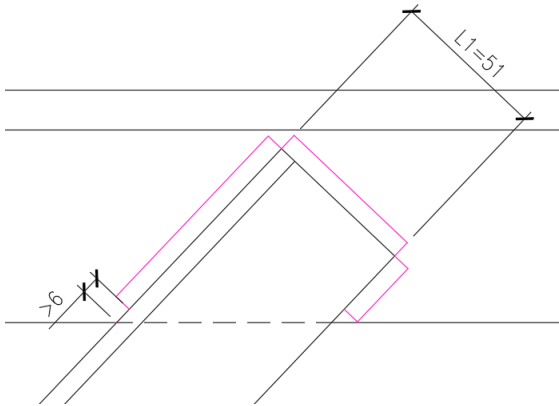
Sección **Perfil 2L 51x51x6**

Material **ASTM A36**
 Espesor **t.p = 13 mm**

Esfuerzos de diseño

Tracción: **11,11 kN** *U6e*
 Compresión: **12,91 kN** *U3d*
 Esfuerzo axial máx: N.máx **12,91 kN**

Esquema de unión



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete	d.mín =	3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño máx de la soldadura de filete	d.max =	6,3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño adoptado de la soldadura de filete	d =	6 mm	
	t.e = $d \cdot (2^{0.5}) / 2$	4,2 mm	

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.75 \cdot t.e \cdot 0.6 \cdot F.E70 = 9,36 \text{ kN/cm} \\ 0.75 \cdot t.p \cdot 0.6 \cdot F_u = 11,34 \text{ kN/cm} \end{array} \right.$$

$$\phi R_n = 9,36 \text{ kN/cm}$$

Cálculo de soldadura

Lado 1:

Longitud efectiva mínima	Le1.min > 4d =	2,4 cm
	Le1.min >	4,0 cm
	L1 >	4,50 cm
	Le1 =	4,50 cm

Resistencia requerida:	N.max =	12,91 kN
Longitud efectiva necesaria:	Le.necesaria = N.max / ϕR_n	1,38 cm

Long de soldadura min adoptada:	Le.min = Le1 =	4,50 cm
---------------------------------	----------------	---------

Le.necesaria < Le.1 **Verifica**

2.4.2 Unión de montantes (VLC_MONT) a cordon superior e inferior (VLC_CORD) de la viga.

Los perfiles L que conforman las montantes de la viga se unen a la estructura con uniones soldadas a los perfiles. De manera conservadora se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y la menor longitud de soldadura.

Características del perfil montante

Sección Perfil L 51x51x6
Material ASTM A36
Espesor de perfil t.p = 6,3 mm

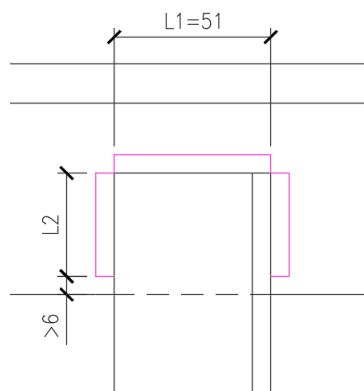
Características del perfil del cordón superior e inferior

Sección Perfil 2L 51x51x6
Material ASTM A36
Espesor t.p = 13 mm

Esfuerzos de diseño

Tracción: 4,43 kN U6g
Compresión: 5,23 kN U4e
Esfuerzo axial máx: N.máx 5,23 kN

Esquema de unión



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete	d.mín =	3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño máx de la soldadura de filete	d.max =	6,3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño adoptado de la soldadura de filete	d =	6 mm	
	t.e = $d \cdot (2^{0.5}) / 2$	4,2 mm	

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.75 \cdot t.e \cdot 0.6 \cdot F.E70 = 9,36 \text{ kN/cm} \\ 0.75 \cdot t.p \cdot 0.6 \cdot F_u = 11,34 \text{ kN/cm} \end{array} \right.$$
$$\phi R_n = 9,36 \text{ kN/cm}$$

Cálculo de soldadura

Lado 1:

$$\text{Longitud efectiva mínima} \left\{ \begin{array}{l} Le1.min > 4d = 2,4 \text{ cm} \\ Le1.min > 4,0 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} L1 > 5,10 \text{ cm} \\ Le1 = 5,10 \text{ cm} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Resistencia requerida:} \quad N.max = 5,23 \text{ kN} \\ \text{Longitud efectiva necesaria:} \quad Le.necesaria = N.max / \phi R_n = 0,56 \text{ cm} \end{array}$$

$$\text{Long de soldadura min adoptada:} \quad Le.min = Le1 = 5,10 \text{ cm}$$

Le.necesaria < Le.1

Verifica

2.4.3 Uniones abulonadas de cordón superior e inferior de la viga longitudinal principal (VLC_CORD)

En el presente apartado se verifican las uniones abulonadas correspondientes a los miembros del cordón superior e inferior de la viga. Se diseña una unión tipo aplastamiento con ajuste sin juego que se proyectan para trabajar por corte el bulón y aplastamiento de la chapa. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas:

Características del perfil

Sección Perfil T2L 76x76x13
Material ASTM A36
Espesor de perfil $t = 13,0$ mm

Características de la chapa de nudo

Espesor $t.p = 12,7$ mm
Material ASTM A36

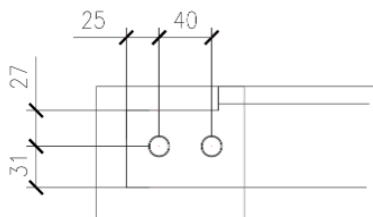
Características de los bulones

Diámetro bulones $db = 12,7$ mm
Material ASTM A325
Diámetro de los agujero $dag = 14,3$ mm

Esfuerzos de diseño

Tracción: $15,88$ kN $U6g$
Compresión: $16,35$ kN $U6a$
Esfuerzo normal máx: $16,35$ kN

Esquema de unión



Cálculo de unión abulonada

Verificación de la geometría

L máx (150mm, 12t)	L máx=	150,0 mm	
L mín (//2d)	L mín=	25,4 mm	
L mín ($\perp 1,5d$)	L mín=	19,1 mm	
S máx (8d, 15t)	S máx=	101,6 mm	
S mín (3d)	S mín=	38,1 mm	
Distancia a borde //	L=	25,4 mm	Verifica
Distancia a borde \perp	L=	27,0 mm	Verifica
Distancia entre bulones	S=	40,0 mm	Verifica

Verificación de corte sobre los bulones

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_v &= 41,37 \text{ kN/cm}^2 \\ A_b &= 1,27 \text{ cm}^2 \\ n &= 2 \\ m &= 1 \\ R_u &< \Phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot n \cdot m \\ R_u &< 78,61 \text{ kN} \\ R_u &= 16,35 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación al aplastamiento de la chapa sobre el agujero

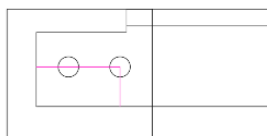
$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_u &= 40,0 \text{ kN/cm}^2 \\ d_b &= 12,7 \text{ mm} \\ n &= 2 \\ m &= 1 \\ t &= 12,7 \text{ mm} \\ R_u &< \Phi \cdot 2,4 \cdot F_u \cdot d_b \cdot t \cdot n \cdot m \\ R_u &< 232,26 \text{ kN} \\ R_u &= 16,35 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación al desgarramiento

Al verificar aplastamiento de la chapa y separación al borde en sentido del esfuerzo, no resulta necesario a realizar esta verificación

Verificación al bloque de corte sobre la chapa

$$\begin{aligned}F_u &= 40,0 \text{ kN/cm}^2 \\ F_y &= 24,8 \text{ kN/cm}^2 \\ A_{nt} &= 2,39 \text{ cm}^2 && \text{Area neta solicitada a tracción} \\ A_{nv} &= 5,15 \text{ cm}^2 && \text{Area neta solicitada a corte} \\ A_{gt} &= 3,43 \text{ cm}^2 && \text{Area bruta solicitada a tracción} \\ A_{gv} &= 8,26 \text{ cm}^2 && \text{Area bruta solicitada a corte} \\ \Phi &= 0,75\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}F_u \cdot A_{nt} &= 95,79 \text{ kN} \\ 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} &= 123,65 \text{ kN}\end{aligned}$$

Se calcula la resistencia de diseño a la rotura considerando las siguientes expresiones:

- a) $F_u \cdot A_{nt} > 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ No aplica
b) $F_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ Aplica

$$\begin{aligned}\Phi R_n &= \Phi(0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + F_u \cdot A_{nt}) \\ \Phi R_n &= 163,97 \text{ kN} \\ R_u &= 16,35 \text{ kN} \quad \text{No aplica}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi R_n &= \Phi(0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + F_y \cdot A_{gt}) \\ \Phi R_n &= 156,52 \text{ kN} \\ R_u &= 16,35 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

2.5 Columnas

2.5.1 Unión de columnas principales (COL) a chapas de nudo

Se calculan las uniones entre los perfiles W que conforman las columnas principales con chapas de nudo. De manera conservadora se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y la menor longitud de soldadura.

Características del perfil columna (COL)

Sección Perfil W 203x19.3
 Material ASTM A36
 Espesor mínimo de perf $t.W =$ 5,8 mm

Características de la chapa

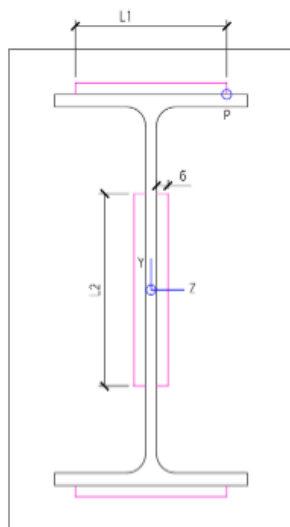
Material ASTM A36
 Espesor en el ala $t.p =$ 12,7 mm

Esfuerzos de diseño

Tracción: 24,48 kN U6e
 Compresión: 31,1 kN U3g
 Esfuerzo axil máx: N.máx 31,1 kN

Corte Vy max 52 kN U6a
 Mz max 3,79 kN*m U6e
 Corte Vz max 3,71 kN U4h
 My max 0,66 kN*m U6b

Esquema de unión



Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete	$d.mín =$	3 mm	<i>(Tabla J.2-4)</i>
Tamaño adoptado de la soldadura de filete	$d =$	6 mm	
	$t.e = d*(2^{0.5})/2 =$	4,2 mm	
	$L1 =$	80 mm	
	$L2 =$	100 mm	

Resistencia mínima

$\phi R_n = \min$	$\phi R_n = 0.6 * t.e * 0.6 * F.E70 =$	7,48 kN/cm
-------------------	--	--

Cálculo de esfuerzos sobre la soldadura

Momento de inercia en X	$I_x =$	770 cm ⁴
Momento de inercia en Y	$I_y =$	37 cm ⁴
	$I_p = I_x + I_y =$	807 cm ⁴

Se asume una distribución uniforme de los esfuerzos de normal y corte y se calculan las tensiones en el punto más alejado P:

Tensión por esfuerzo normal:	$f_x.N = N_{max} / [t.e * (2*L_2 + 2*L_1)] =$	2,04 kN/cm ²
Tensión por corte en Y:	$f_y.V_y = V_y / [t.e * (2*L_2 + 2*L_1)] =$	3,40 kN/cm ²
Tensión por corte en Z:	$f_z.V_z = V_z / [t.e * (2*L_2 + 2*L_1)] =$	0,24 kN/cm ²
Tensión en x por Mz:	$f_x.M_z = M_z * 101.5 \text{ mm} / I_p =$	4,77 kN/cm ²
Tensión en y por Mz:	$f_y.M_z = M_z * 40 \text{ mm} / I_p =$	1,88 kN/cm ²
Tensión en z por My:	$f_z.M_y = M_y * 40 \text{ mm} / I_y =$	7,12 kN/cm ²

Esfuerzo resultante de las tensiones:

$$f_u = [\sum f_x^2 + \sum f_y^2 + \sum f_z^2]^{0.5} = 11,33 \text{ kN/cm}^2$$

Tensión de resistencia de la soldadura

$$\phi R_n / t.e = 17,64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Ratio} = f_u / (\phi R_n / t.e) = 0,64 < 1 \quad \text{Verifica}$$

2.5.2 Unión de columnas secundarias (CS) a chapas de nudo

Se calculan las uniones entre los perfiles W que conforman las columnas secundarias con chapas de nudo. De manera conservadora se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y la menor longitud de soldadura.

Características del perfil columna (COL)

Sección	Perfil W 152x12.7
Material	ASTM A36
Espesor mínimo de perf	$t.W = 4,3 \text{ mm}$

Características de la chapa

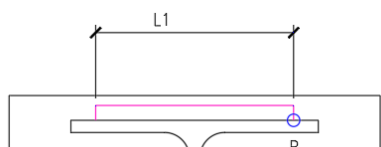
Material	ASTM A36
Espesor en el ala	$t.p = 12,7 \text{ mm}$

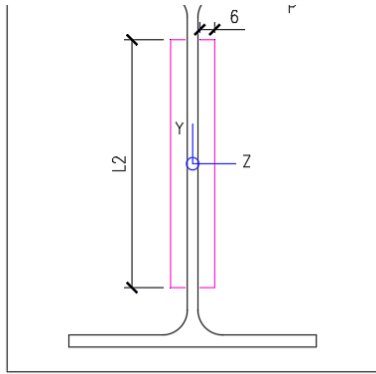
Esfuerzos de diseño

Tracción:	15,23 kN	U4e
Compresión:	22,52 kN	U4g
Esfuerzo axil máx: N.máx	22,52 kN	

Corte V_y max	4,78 kN	U4h
M_z max	0,37 kN*m	U4c
Corte V_z max	6,01 kN	U4b
M_y max	0,26 kN*m	U6c

Esquema de unión





Características de la soldadura:

Tamaño mínimo de la soldadura de filete	d.mín =	3 mm	(Tabla J.2-4)
Tamaño adoptado de la soldadura de filete	d =	6 mm	
	$t.e = d \cdot (2^{0.5}) / 2 =$	4,2 mm	
	L1 =	80 mm	
	L2 =	100 mm	

Resistencia mínima

$$\phi R_n = \min \quad \left| \quad \phi R_n = 0.6 \cdot t.e \cdot 0.6 \cdot F.E70 = 7,48 \text{ kN/cm} \right.$$

Cálculo de esfuerzos sobre la soldadura

Momento de inercia en X	$I_x =$	453 cm ⁴
Momento de inercia en Y	$I_y =$	37 cm ⁴
	$I_p = I_x + I_y =$	489 cm ⁴

Se asume una distribución uniforme de los esfuerzos de normal y corte y se calculan las tensiones en el punto más alejado P:

Tensión por esfuerzo normal:	$f_x.N = N_{\max} / [t.e \cdot (2 \cdot L_2 + 2 \cdot L_1)] =$	1,47 kN/cm ²
Tensión por corte en Y:	$f_y.V_y = V_y / [t.e \cdot (2 \cdot L_2 + 2 \cdot L_1)] =$	0,31 kN/cm ²
Tensión por corte en Z:	$f_z.V_z = V_z / [t.e \cdot (2 \cdot L_2 + 2 \cdot L_1)] =$	0,39 kN/cm ²
Tensión en x por Mz:	$f_x.M_z = M_z \cdot 101.5 \text{ mm} / I_p =$	0,56 kN/cm ²
Tensión en y por Mz:	$f_y.M_z = M_z \cdot 40 \text{ mm} / I_p =$	0,30 kN/cm ²
Tensión en z por My:	$f_z.M_y = M_y \cdot 40 \text{ mm} / I_y =$	2,83 kN/cm ²

Esfuerzo resultante de las tensiones:

$$f_u = [\sum f_x^2 + \sum f_y^2 + \sum f_z^2]^{0.5} = 3,86 \text{ kN/cm}^2$$

Tensión de resistencia de la soldadura

$$\phi R_n / t.e = 17,64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Ratio} = f_u / (\phi R_n / t.e) = 0,22 < 1 \quad \text{Verifica}$$

2.5.3 Unión entre tramo inferior y tramo superior de columnas principales

En el presente apartado se verifican las uniones abulonadas correspondientes a los tramos superior e inferior de las columnas principales, las cuales se unirán mediante dos chapas soldadas a cada tramo en taller. Se diseña una unión tipo aplastamiento con ajuste sin juego que se proyecta para trabajar por corte el bulón y aplastamiento de la chapa. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos en toda la columna y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas.

Características de las chapas de nudos

Espesor	$t.p =$	12,7 mm
---------	---------	---------

Material ASTM A36

Características de los bulones

Diámetro bulones $d_b = 12,70$ mm

Material ASTM A325

Diámetro de los agujero $d_{ag} = 14,3$ mm

Esfuerzos de diseño

Tracción: 25,26 kN U6e

Compresión: 31,1 kN U3g

Corte V_y max 51,99 kN U6a

M_z max 28,65 kN*m U4d

Corte V_z max 5,46 kN U4h

M_y max 2,15 kN*m U4h

Se descomponen los esfuerzos de diseño y se determinan las máximas reacciones sobre un bulón

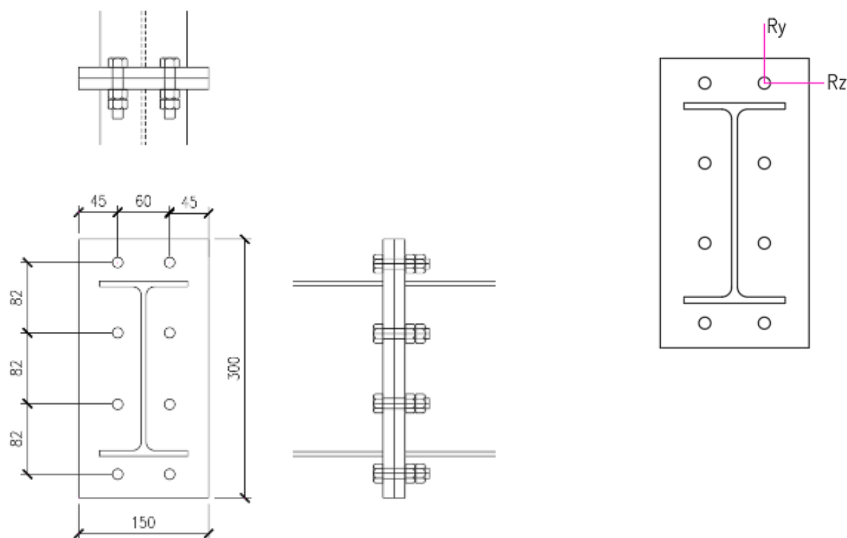
R_z .max: 0,68 kN

R_y .max: 6,50 kN

R_x .max: 30,25 kN

R_{yz} .max = $(R_y^2 + R_z^2)^{0.5} = 6,53$ kN

Esquema de unión



Cálculo de unión abulonada

Verificación de la geometría

L máx (150mm, 12t) L máx= 150,0 mm

L mín ($l/2d$) L mín= 25,4 mm

L mín ($\perp 1,5d$) L mín= 19,1 mm

S máx (8d, 15t) S máx= 101,6 mm

S mín (3d) S mín= 38,1 mm

Distancia a borde // L= 27,0 mm Verifica

Distancia a borde \perp L= 40,0 mm Verifica

Distancia entre bulones S= 82,0 mm Verifica

Verificación de corte sobre los bulones

$\Phi = 0,75$
 $F_v = 41,37 \text{ kN/cm}^2$
 $A_b = 1,27 \text{ cm}^2$
 $n = 8$
 $m = 1$
 $R_u < \Phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot n \cdot m$
 $R_u < 314,44 \text{ kN}$
 $R_u = 52,28 \text{ kN}$ **Verifica**

Verificación de tracción sobre los bulones

$\Phi = 0,75$
 $F_u = 82,74 \text{ kN/cm}^2$
 $F_n = 62,06 \text{ kN/cm}^2$ Tensión neta de tracción nominal
 $A_b = 1,27 \text{ cm}^2$
 $n = 8$
 $m = 1$
 $R_u < \Phi \cdot F_n \cdot A_b \cdot n \cdot m$
 $R_u < 471,66 \text{ kN}$
 $R_u = 242,01 \text{ kN}$ **Verifica**

Verificación de tracción y corte sobre los bulones

Para verificar la resistencia a tracción y corte combinado sobre un bulón, se obtiene la tensión de tracción nominal límite F_t en función de la tensión de corte sobre un bulón producida por las cargas mayoradas.

$F_{nt} = 117,91 \text{ kN}$	<i>Esfuerzos analizados sobre el bulón más solicitado</i>
$F_{nv} = 78,61 \text{ kN}$	
$f_v = 13,07 \text{ kN}$	

$f_t < \Phi \cdot (F_{nt}^2 - (F_{nt} / (\Phi \cdot F_{nv})) \cdot f_v^2)^{0,5}$ s/ sección J.3.7 CIRSOC 301

$f_t < 86,24 \text{ kN}$
 $f_t = 60,50 \text{ kN}$ **Verifica**

Verificación al aplastamiento de la chapa sobre el agujero

$\Phi = 0,75$
 $F_u = 40,0 \text{ kN/cm}^2$
 $d_b = 12,7 \text{ mm}$
 $n = 8$
 $m = 1$
 $t = 12,7 \text{ mm}$
 $R_u < \Phi \cdot 2,4 \cdot F_u \cdot d_b \cdot t \cdot n \cdot m$
 $R_u < 929,03 \text{ kN}$
 $R_u = 52,28 \text{ kN}$ **Verifica**

Verificación al desgarramiento

Al verificar aplastamiento de la chapa y separación al borde en sentido del esfuerzo, no resulta necesario a realizar esta verificación

2.5.3 Unión entre tramo inferior y tramo superior de columnas secundarias

En el presente apartado se verifican las uniones abulonadas correspondientes a los tramos superior e inferior de las columnas secundarias, las cuales se unirán mediante dos chapas soldadas a cada tramo en taller. Se diseña una unión tipo aplastamiento con ajuste sin juego que se proyecta para trabajar por corte el bulón y aplastamiento de la chapa. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos en toda la columna y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas.

Características de las chapas de nudos

Espesor $t.p = 12,7$ mm
Material **ASTM A36**

Características de los bulones

Diámetro bulones $db = 12,70$ mm
Material **ASTM A325**
Diámetro de los agujero $dag = 14,3$ mm

Esfuerzos de diseño

Tracción: **15,23** kN *U6e*
Compresión: **22,2** kN *U3g*

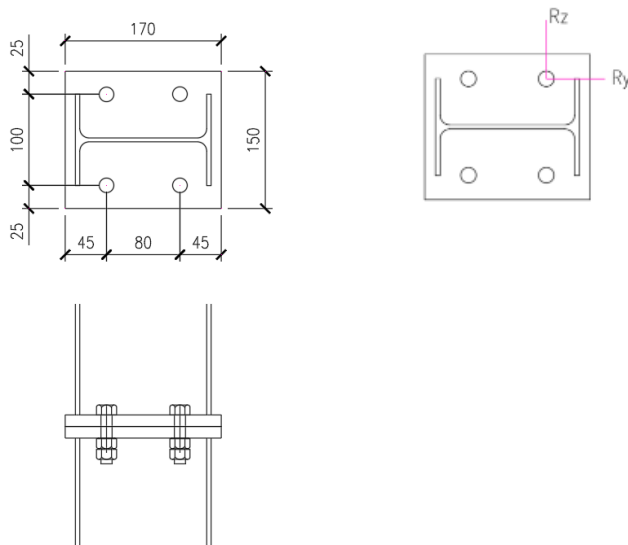
Corte V_y max **4,78** kN *U6a*
 M_z max **2,99** kN*m *U4d*

Corte V_z max **6,01** kN *U4h*
 M_y max **3,76** kN*m *U4h*

Se descomponen los esfuerzos de diseño y se determinan las máximas reacciones sobre un bulón

$R_z.max:$ 1,50 kN
 $R_y.max:$ 1,20 kN
 $R_x.max:$ 43,04 kN
 $R_{yz}.max = (R_y^2 + R_z^2)^{0.5} =$ 1,92 kN

Esquema de unión



Cálculo de unión abulonada

Verificación de la geometría

$L_{máx} (150mm, 12t)$ $L_{máx} = 150,0$ mm

L mín (//2d)	L mín=	25,4 mm	
L mín (⊥1,5d)	L mín=	19,1 mm	
S máx (8d, 15t)	S máx=	101,6 mm	
S mín (3d)	S mín=	38,1 mm	
Distancia a borde //	L=	45,0 mm	Verifica
Distancia a borde ⊥	L=	25,0 mm	Verifica
Distancia entre bulones	S=	99,0 mm	Verifica

Verificación de corte sobre los bulones

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_v &= 41,37 \text{ kN/cm}^2 \\ A_b &= 1,27 \text{ cm}^2 \\ n &= 4 \\ m &= 1 \\ R_u &< \Phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot n \cdot m \\ R_u &< 157,22 \text{ kN} \\ R_u &= 7,68 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación de tracción sobre los bulones

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_u &= 82,74 \text{ kN/cm}^2 \\ F_n &= 62,06 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{Tensión neta de tracción nominal} \\ A_b &= 1,27 \text{ cm}^2 \\ n &= 4 \\ m &= 1 \\ R_u &< \Phi \cdot F_n \cdot A_b \cdot n \cdot m \\ R_u &< 235,83 \text{ kN} \\ R_u &= 172,15 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación de tracción y corte sobre los bulones

Para verificar la resistencia a tracción y corte combinado sobre un bulón, se obtiene la tensión de tracción nominal límite F_t en función de la tensión de corte sobre un bulón producida por las cargas mayoradas.

$\begin{aligned}F_{nt} &= 58,96 \text{ kN} \\ F_{nv} &= 39,30 \text{ kN} \\ f_v &= 1,92 \text{ kN}\end{aligned}$	<i>Esfuerzos analizados sobre el bulón más solicitado</i>
--	---

$$f_t < \Phi \cdot (F_{nt}^2 - (F_{nt} / (\Phi \cdot F_{nv})) \cdot f_v^2)^{0,5} \quad \text{s/ sección J.3.7 CIRSOC 301}$$

$$\begin{aligned}f_t &< 44,12 \text{ kN} \\ f_t &= 43,04 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación al aplastamiento de la chapa sobre el agujero

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_u &= 40,0 \text{ kN/cm}^2 \\ d_b &= 12,7 \text{ mm} \\ n &= 4 \\ m &= 1 \\ t &= 12,7 \text{ mm} \\ R_u &< \Phi \cdot 2,4 \cdot F_u \cdot d_b \cdot t \cdot n \cdot m \\ R_u &< 464,52 \text{ kN} \\ R_u &= 7,68 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación al desgarramiento

Al verificar aplastamiento de la chapa y separación al borde en sentido del esfuerzo, no resulta necesario a realizar esta verificación

2.6 Diagonales rigidizadoras (DL)

En el presente apartado se verifican las uniones abulonadas correspondientes a las diagonales rigidizadoras. Se diseña una unión tipo aplastamiento con ajuste sin juego que se proyectan para trabajar por corte el bulón y aplastamiento de la chapa. De manera conservadora, se calcula la unión para los mayores esfuerzos obtenidos y se diseñan todas las uniones con la misma disposición por razones constructivas:

Características del perfil

Sección Perfil 2L 51x51x6
Material ASTM A36
Espesor de perfil $t = 6,3$ mm

Características de la chapa de nudo

Espesor $t.p = 12,7$ mm
Material ASTM A36

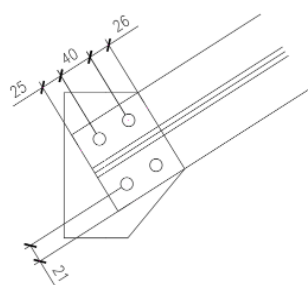
Características de los bulones

Diámetro bulones $db = 12,7$ mm
Material ASTM A325
Diámetro de los agujero $dag = 14,3$ mm

Esfuerzos de diseño

Tracción: 28,42 kN U4e
Compresión: - kN
Esfuerzo normal máx: 14,21 kN (sobre cada perfil L)

Esquema de unión



Cálculo de unión abulonada

Verificación de la geometría

L máx (150mm, 12t)	L máx=	75,6 mm	
L mín (//2d)	L mín=	25,4 mm	
L mín (⊥1,5d)	L mín=	19,1 mm	
S máx (8d, 15t)	S máx=	94,5 mm	
S mín (3d)	S mín=	38,1 mm	
Distancia a borde //	L=	25,4 mm	Verifica
Distancia a borde ⊥	L=	21,0 mm	Verifica
Distancia entre bulones	S=	40,0 mm	Verifica

Verificación de corte sobre los bulones

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_v &= 41,37 \text{ kN/cm}^2 \\ A_b &= 1,27 \text{ cm}^2 \\ n &= 2 \\ m &= 1 \\ R_u &< \Phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot n \cdot m \\ R_u &< 78,61 \text{ kN} \\ R_u &= 14,21 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

Verificación al aplastamiento de la chapa sobre el agujero

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ F_u &= 40,0 \text{ kN/cm}^2 \\ d_b &= 12,7 \text{ mm} \\ n &= 2 \\ m &= 1 \\ t &= 12,7 \text{ mm} \\ R_u &< \Phi \cdot 2,4 \cdot F_u \cdot d_b \cdot t \cdot n \cdot m \\ R_u &< 232,26 \text{ kN} \\ R_u &= 14,21 \text{ kN} \quad \text{Verifica}\end{aligned}$$

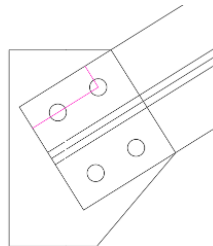
Verificación al desgarramiento

Al verificar aplastamiento de la chapa y separación al borde en sentido del esfuerzo, no resulta necesario a realizar esta verificación

Verificación al bloque de corte sobre la chapa

$$\begin{aligned}F_u &= 40,0 \text{ kN/cm}^2 \\ F_y &= 24,8 \text{ kN/cm}^2 \\ A_{nt} &= 1,63 \text{ cm}^2 && \text{Area neta solicitada a tracción} \\ A_{nv} &= 5,15 \text{ cm}^2 && \text{Area neta solicitada a corte} \\ A_{gt} &= 2,67 \text{ cm}^2 && \text{Area bruta solicitada a tracción} \\ A_{gv} &= 8,26 \text{ cm}^2 && \text{Area bruta solicitada a corte} \\ \Phi &= 0,75\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_u \cdot A_{nt} &= 65,31 \text{ kN} \\ 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} &= 123,65 \text{ kN}\end{aligned}$$



Se calcula la resistencia de diseño a la rotura considerando las siguientes expresiones:

- a) $F_u \cdot A_{nt} > 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ No aplica
b) $F_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ Aplica

a) $\Phi R_n = \Phi(0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + F_u \cdot A_{nt})$
 $\Phi R_n = 141,11 \text{ kN}$
 $R_u = 14,21 \text{ kN}$ No aplica

b) $\Phi R_n = \Phi(0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + F_y \cdot A_{gt})$
 $\Phi R_n = 142,35 \text{ kN}$
 $R_u = 14,21 \text{ kN}$ Verifica