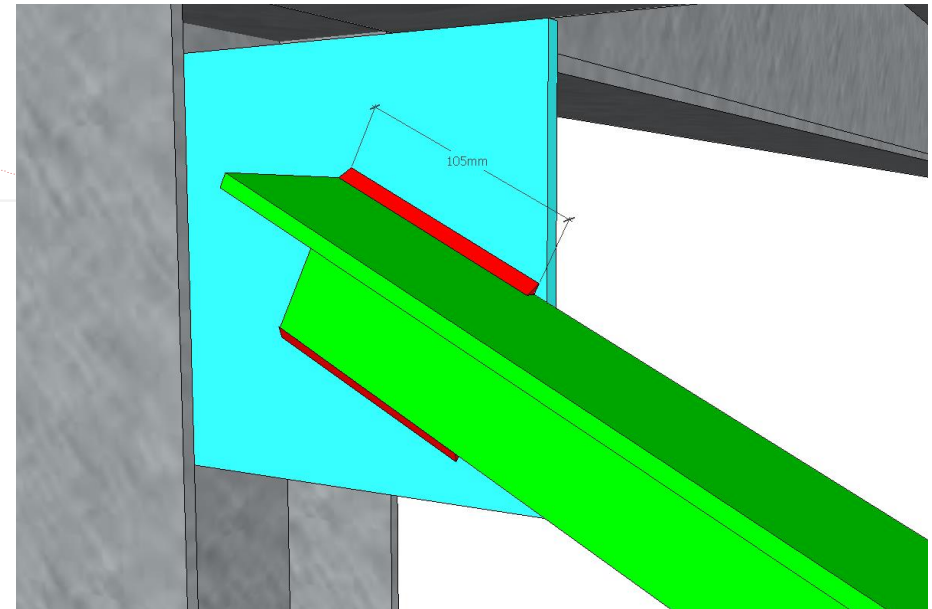
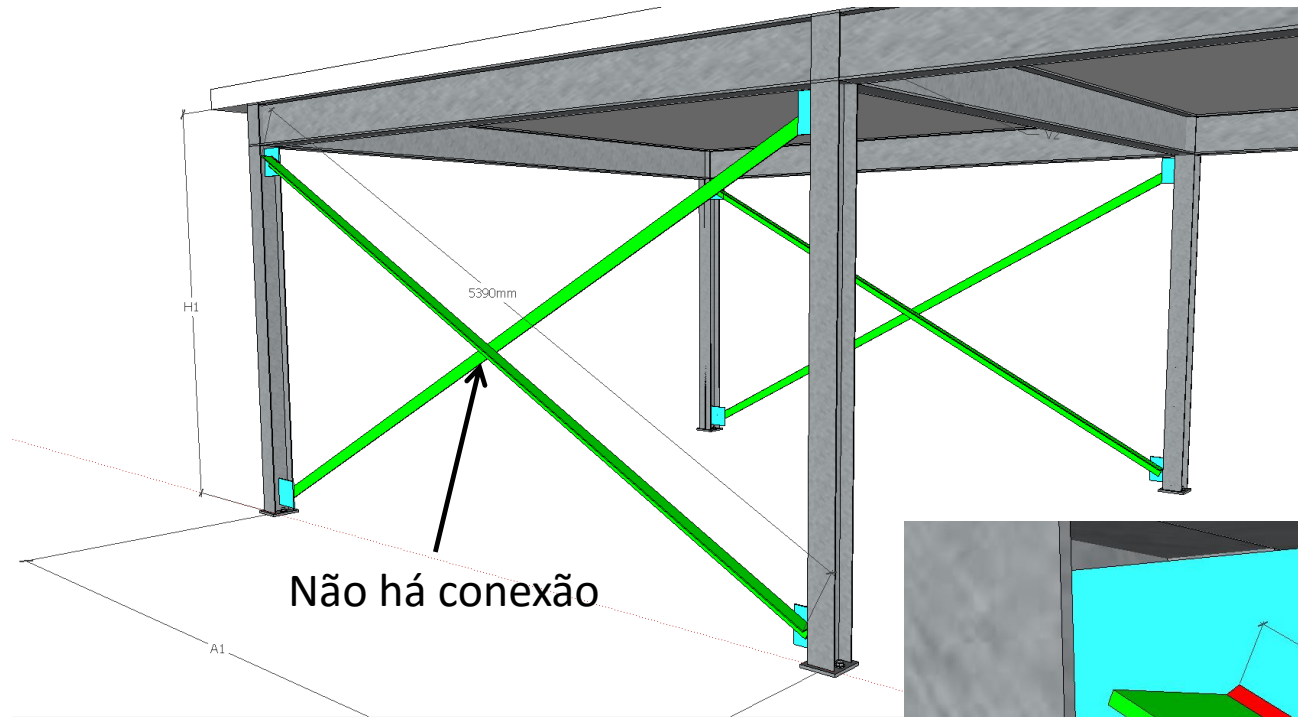


LISTA DE EXERCÍCIOS TRAÇÃO E COMPRESSÃO

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 01 - Considere a cantoneira de abas iguais L4" X ¼" ASTM A36 da figura.



Determine a máxima tração admissível
para a cantoneira

RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

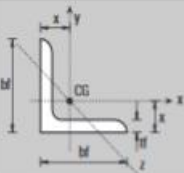
$$\lambda_{max} = \frac{L}{r} \leq 300$$

$$\lambda = \frac{L}{r} = \frac{539}{2,00} = 269,5 \text{ OK}$$

Passo 2 – Verificar Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{12,51.25}{1,1} = 284,31 \text{ kN}$$

Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais
Propriedades para dimensionamento



b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{x \min}$	x
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	0,317	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,49	1,90	3/16"	0,476	0,79	0,54	0,66	0,48	0,74
1"	2,540	1,19	1,48	1/8"	0,317	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	2,19	3/16"	0,476	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	2,84	1/4"	0,635	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1 1/4"	3,175	1,50	1,93	1/8"	0,317	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	2,77	3/16"	0,476	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	3,62	1/4"	0,635	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1 1/2"	3,810	1,83	2,32	1/8"	0,317	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3,42	3/16"	0,476	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	4,45	1/4"	0,635	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1 3/4"	4,445	2,14	2,71	1/8"	0,317	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	4,00	3/16"	0,476	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	5,22	1/4"	0,635	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		5,04	6,45	5/16"	0,794	11,20	3,77	1,32	0,86	1,41
2"	5,080	2,46	3,10	1/8"	0,317	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	4,58	3/16"	0,476	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	6,06	1/4"	0,635	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	7,42	5/16"	0,794	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	8,76	3/8"	0,952	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2 1/2"	6,350	4,57	5,80	3/16"	0,476	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	7,67	1/4"	0,635	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	9,48	5/16"	0,794	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	11,16	3/8"	0,952	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	7,620	5,52	7,03	3/16"	0,476	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	9,29	1/4"	0,635	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	11,48	5/16"	0,794	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	13,61	3/8"	0,952	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		12,34	15,67	7/16"	1,111	83,00	15,60	2,31	1,47	2,31
		14,00	17,74	1/2"	1,270	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
4"	10,160	9,81	12,51	1/4"	0,635	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	15,48	5/16"	0,794	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	18,45	3/8"	0,952	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	21,35	7/16"	1,111	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	24,19	1/2"	1,270	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
		21,26	26,96	9/16"	1,429	254,00	36,10	3,07	1,98	3,07
		23,35	29,73	5/8"	1,588	279,00	39,40	3,05	1,96	3,12
5"	12,700	18,30	23,29	3/8"	0,952	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	30,64	1/2"	1,270	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	37,8	5/8"	1,588	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		35,10	44,76	3/4"	1,905	653,00	73,80	3,81	2,46	3,86
6"	15,240	22,22	28,12	3/8"	0,952	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	37,09	1/2"	1,270	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	45,86	5/8"	1,588	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	54,44	3/4"	1,905	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		49,30	62,76	7/8"	2,222	1.327,00	124,60	4,60	2,97	4,62

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Verificar Ruptura da seção líquida

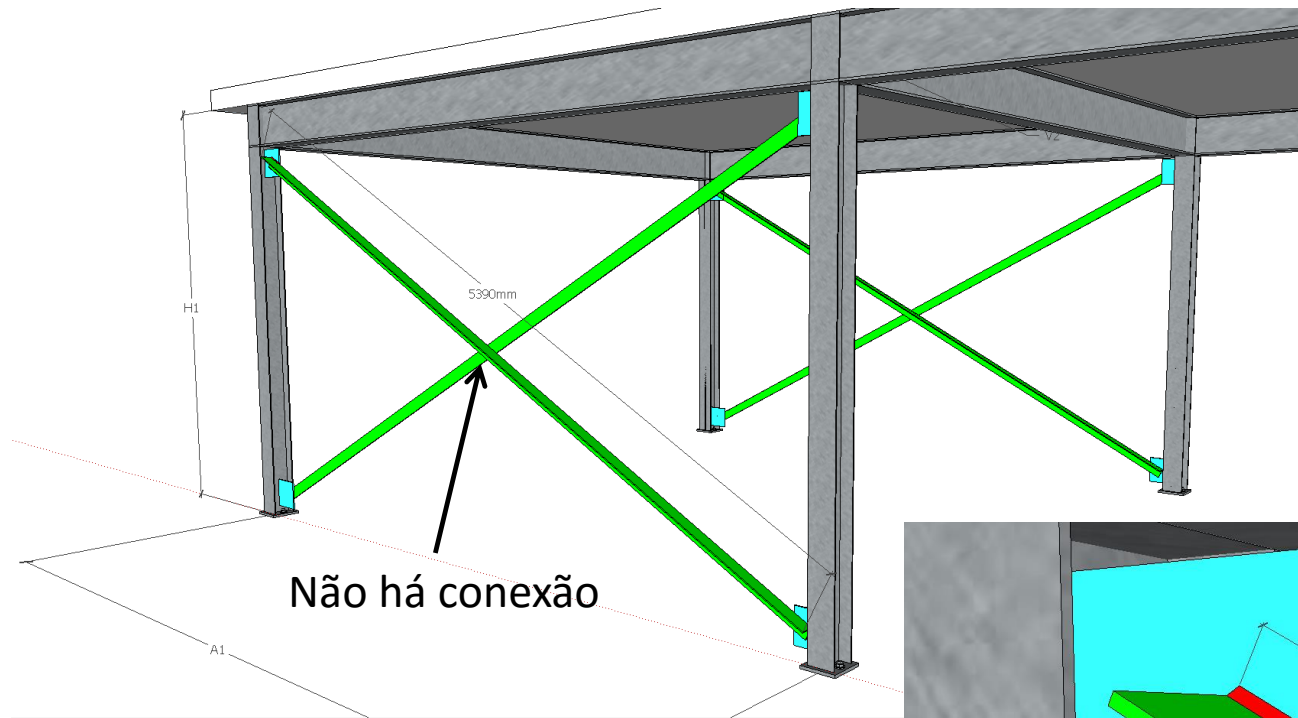
$$N_{t,Rd} = \frac{Ct \cdot A_n \cdot F_u}{1,35}$$

$$Ct = 1 - \frac{e_c}{l_c} \rightarrow Ct = 1 - \frac{2,77}{10,5} \rightarrow Ct = 0,736$$

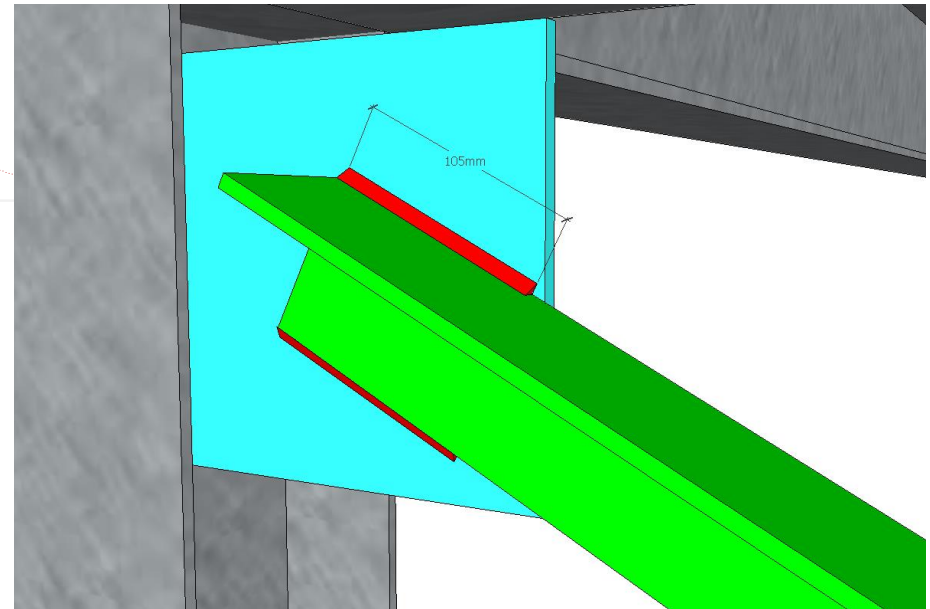
$$N_{t,Rd} = \frac{0,736 \cdot 12,51 \cdot 40}{1,35} = 272,81 \text{ kN}$$

CONCLUSÃO: A carga axial solicitante de tração que a peça pode ser submetida é 272,81kN correspondente ao Estado Limite de Ruptura da Seção Líquida

Exercício 02 - Considere a cantoneira de abas iguais L3" X ¼" ASTM A36 da figura.



Determine a máxima compressão admissível da cantoneira



RESOLUÇÃO:

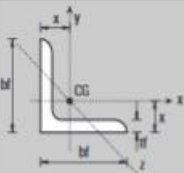
Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{k \cdot L}{r} \leq 200$$

$$\lambda = \frac{k \cdot L}{r} = \frac{0,5 \cdot 39}{1,50} = 129,66 \text{ OK}$$

a meta é preencher: $N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1}$

Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais
Propriedades para dimensionamento



b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{x \min}$	x
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	0,317	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,49	1,90	3/16"	0,476	0,79	0,54	0,66	0,48	0,74
1"	2,540	1,19	1,48	1/8"	0,317	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	2,19	3/16"	0,476	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	2,84	1/4"	0,635	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1 1/4"	3,175	1,50	1,93	1/8"	0,317	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	2,77	3/16"	0,476	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	3,62	1/4"	0,635	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1 1/2"	3,810	1,83	2,32	1/8"	0,317	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3,42	3/16"	0,476	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	4,45	1/4"	0,635	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1 3/4"	4,445	2,14	2,71	1/8"	0,317	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	4,00	3/16"	0,476	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	5,22	1/4"	0,635	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		5,04	6,45	5/16"	0,794	11,20	3,77	1,32	0,86	1,41
2"	5,080	2,46	3,10	1/8"	0,317	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	4,58	3/16"	0,476	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	6,06	1/4"	0,635	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	7,42	5/16"	0,794	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	8,76	3/8"	0,952	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2 1/2"	6,350	4,57	5,80	3/16"	0,476	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	7,67	1/4"	0,635	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	9,48	5/16"	0,794	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	11,16	3/8"	0,952	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	7,620	5,52	7,03	3/16"	0,476	40,00	7,24	2,39	1,50	2,08
		7,29	9,29	1/4"	0,635	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	11,48	5/16"	0,794	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	13,61	3/8"	0,952	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		12,34	15,67	7/16"	1,111	83,00	15,60	2,31	1,47	2,31
		14,00	17,74	1/2"	1,270	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
4"	10,160	9,81	12,51	1/4"	0,635	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	15,48	5/16"	0,794	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	18,45	3/8"	0,952	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	21,35	7/16"	1,111	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	24,19	1/2"	1,270	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
		21,26	26,96	9/16"	1,429	254,00	36,10	3,07	1,98	3,07
		23,35	29,73	5/8"	1,588	279,00	39,40	3,05	1,96	3,12
5"	12,700	18,30	23,29	3/8"	0,952	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	30,64	1/2"	1,270	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	37,8	5/8"	1,588	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		35,10	44,76	3/4"	1,905	653,00	73,80	3,81	2,46	3,86
6"	15,240	22,22	28,12	3/8"	0,952	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	37,09	1/2"	1,270	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	45,86	5/8"	1,588	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	54,44	3/4"	1,905	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		49,30	62,76	7/8"	2,222	1.327,00	124,60	4,60	2,97	4,62

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

Perfil composto apenas por elementos AL

$$\frac{b}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,45 \sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12,88$$

$$\frac{b}{t} = \frac{76,2}{6,35} = 12,00$$

$$Q_s = 1,00$$

$$\text{Portanto } Q = 1,00$$

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	- Mesas ou almas de seções tubulares retangulares - Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	- Almas de seções I, H ou U - Mesas ou almas de seção-caixão - Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	- Mesas de seções I, H, T ou U laminadas - Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas - Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	Mesas de seções I, H, T ou U soldadas^a		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
		^a O coeficiente k_c é dado em F.2.		

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar carga crítica de flambagem elástica

$$\frac{L_{x1}}{r_{x1}} = \frac{539}{2,36} = 228,38 > 80$$

$$K_{x1} L_{x1} = 32 \cdot L_{rx1} + 1,25 \cdot L_{x1} = 749,27$$

$$Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_{x1} \cdot L_{x1})^2}$$

$$Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 50}{(749,27)^2} = 18,01 \text{ kN}$$

E.1.4 Cantoneiras simples conectadas por uma aba

E.1.4.1 Os efeitos da excentricidade da força de compressão atuante em uma cantoneira simples podem ser considerados por meio de um comprimento de flambagem equivalente, desde que essa cantoneira:

- a) seja carregada nas extremidades através da mesma aba;
- b) seja conectada por solda ou por pelo menos dois parafusos na direção da solicitação;
- c) não esteja solicitada por ações transversais intermediárias.

Nesse caso, a força axial de flambagem elástica da cantoneira, N_{ex} , é dada por:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_{x1}}{(K_{x1} L_{x1})^2}$$

onde:

I_{x1} é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo que passa pelo centro geométrico e é paralelo à aba conectada;

$K_{x1} L_{x1}$ é o comprimento de flambagem equivalente, dado em E.1.4.2 ou E.1.4.3, o que for aplicável.

E.1.4.2 Para cantoneiras de abas iguais ou de abas desiguais conectadas pela aba de maior largura, que são barras individuais ou diagonais ou montantes de treliças planas com as barras adjacentes conectadas do mesmo lado das chapas de nó ou das cordas (ver 5.3.4.1):

- a) quando $0 \leq \frac{L_{x1}}{r_{x1}} \leq 80$: $K_{x1} L_{x1} = 72 r_{x1} + 0,75 L_{x1}$
- b) quando $\frac{L_{x1}}{r_{x1}} > 80$: $K_{x1} L_{x1} = 32 r_{x1} + 1,25 L_{x1}$

onde:

L_{x1} é o comprimento da cantoneira, tomado entre os pontos de trabalho situados nos eixos longitudinais das cordas da treliça;

r_{x1} é o raio de giração da seção transversal em relação ao eixo que passa pelo centro geométrico e é paralelo à aba conectada.

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar χ (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 9,29 \cdot 25}{18,01}} = 3,58$$

5.3.3 Fator de redução χ

5.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, χ , é dado por:

$$\text{- para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2}$$

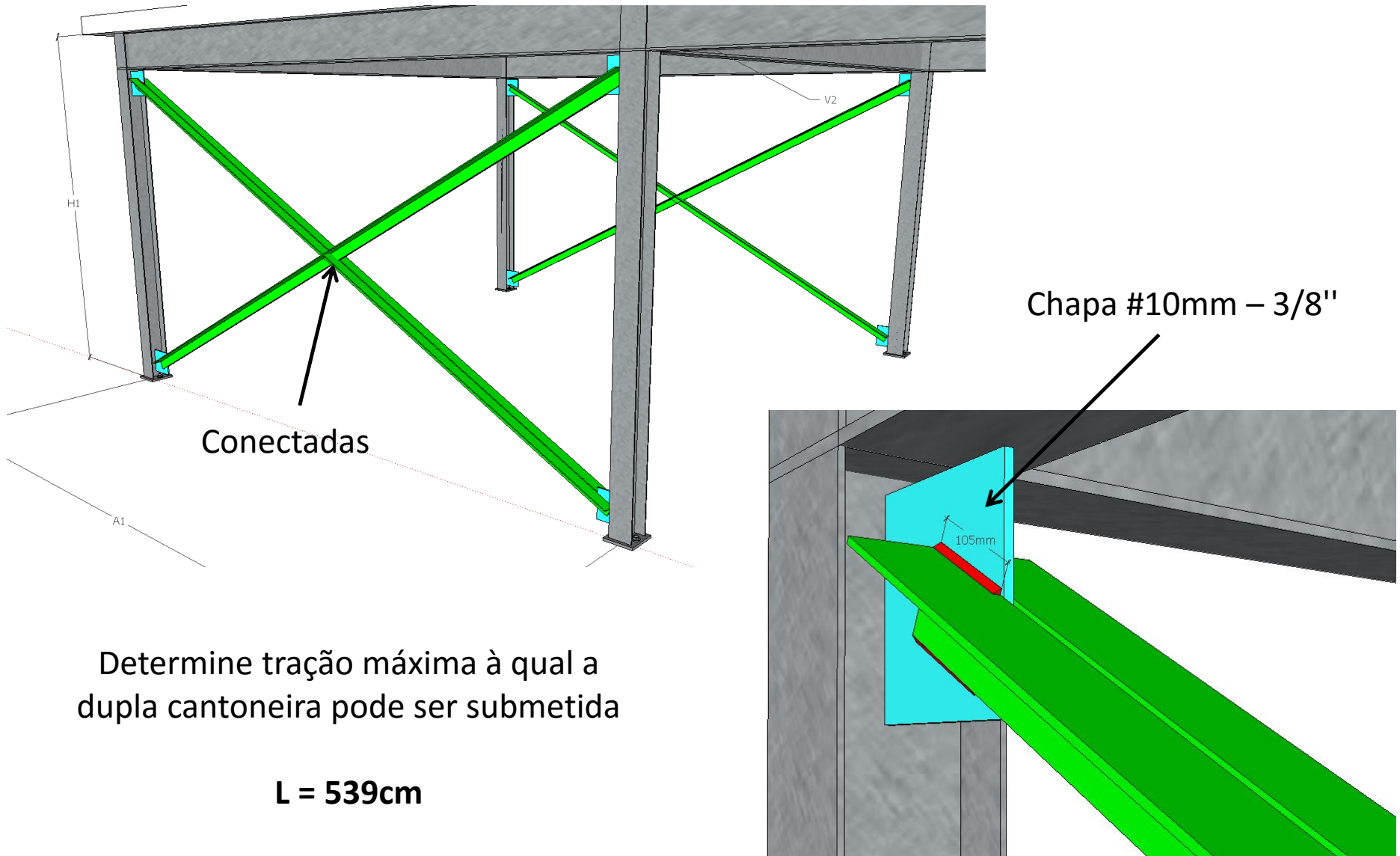
$$\text{- para } \lambda_0 > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\chi = \frac{0,877}{(\lambda_0)^2} = 0,0684$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,0684 \cdot 1 \cdot 9,29 \cdot 25}{1,1} = 14,44 \text{ kN}$$

Exercício 03 - Considere a cantoneira dupla de abas iguais 2L3" X ¼" ASTM A36 da figura.



RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{L}{r} \leq 300$$

$$\lambda_x = \frac{Lx}{rx} = \frac{269,5}{2,36} = 114,19 \text{ OK}$$

$$\lambda_y = \frac{Ly}{ry} = \frac{539}{3,73} = 144,50 \text{ OK}$$

Passo 2 – Verificar Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{18,58.25}{1,1} = 422,27 \text{ kN}$$

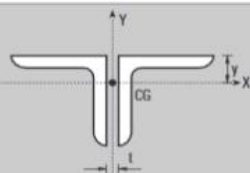


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,90
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	40,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Verificar Ruptura da seção líquida

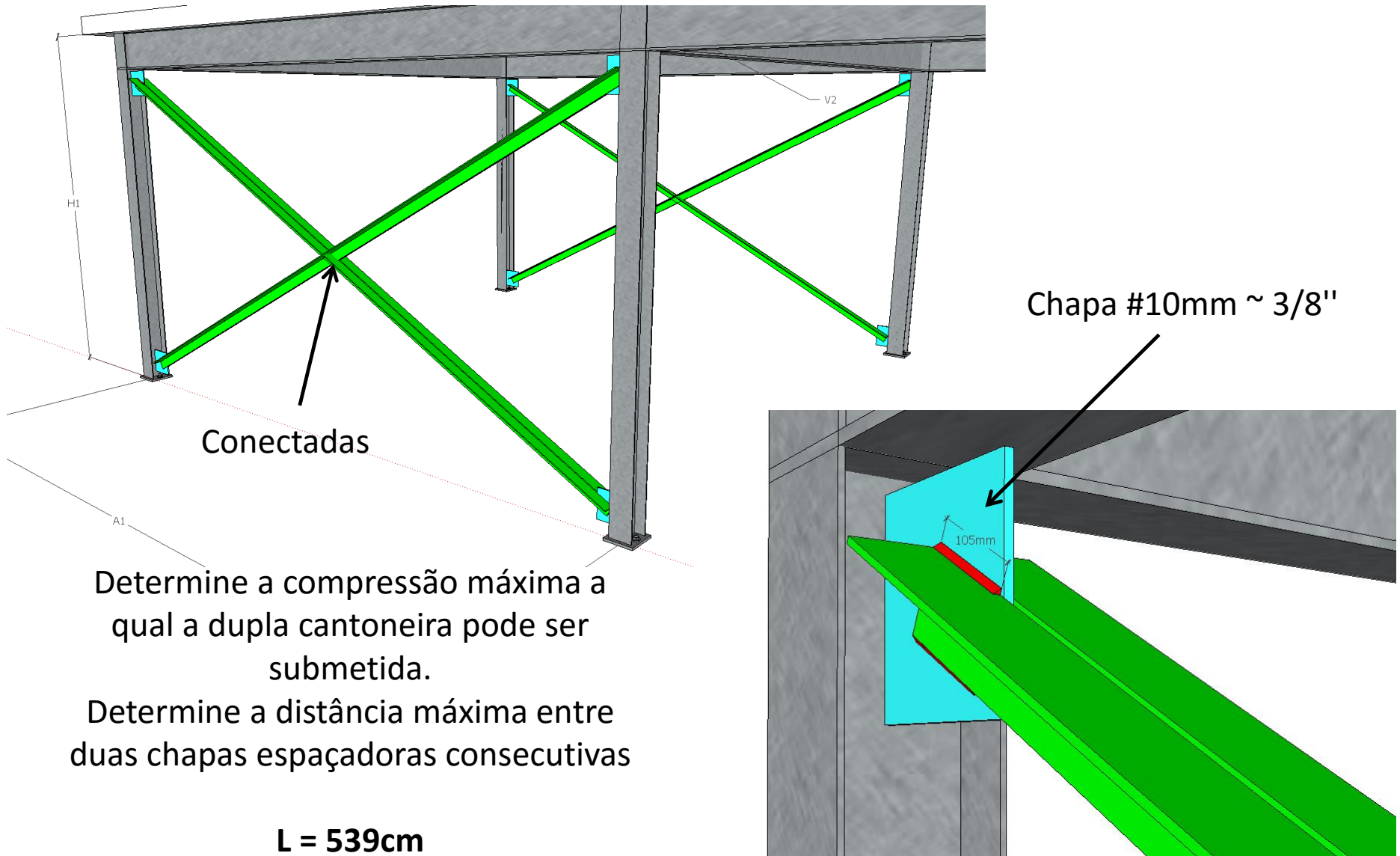
$$N_{t,Rd} = \frac{Ct \cdot A_n \cdot F_u}{1,35}$$

$$Ct = 1 - \frac{e_c}{l_c} \rightarrow Ct = 1 - \frac{2,13}{10,5} \rightarrow Ct = 0,797$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,797 \cdot 18,58 \cdot 40}{1,35} = 438,76 \text{ kN}$$

CONCLUSÃO: A carga axial solicitante de tração que a peça pode ser submetida é 422,27kN correspondente ao Estado Limite Escoamento da Seção Bruta

Exercício 04 - Considere a cantoneira dupla de abas iguais 2L3" X ¼" ASTM A36 da figura.



RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{k \cdot L}{r} \leq 200$$

$$\lambda_x = \frac{kx \cdot Lx}{rx} = \frac{0,5 \cdot 269,5}{2,36} = 57,09 \text{ OK}$$

$$\lambda_y = \frac{ky \cdot Ly}{ry} = \frac{0,5 \cdot 539}{3,73} = 72,25 \text{ OK}$$

a meta é preencher: $N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1}$

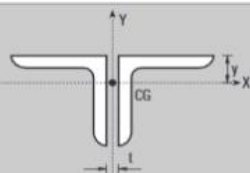


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,94	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,90
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,17	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	40,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

Perfil composto apenas por elementos AL

$$\frac{b}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,45 \sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12,88$$

$$\frac{b}{t} = \frac{76,2}{6,35} = 12,00$$

$$Q_s = 1,00$$

$$\text{Portanto } Q = 1,00$$

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	- Mesas ou almas de seções tubulares retangulares - Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	- Almas de seções I, H ou U - Mesas ou almas de seção-caixão - Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	- Mesas de seções I, H, T ou U laminadas - Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas - Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	Mesas de seções I, H, T ou U soldadas ^a		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
		^a O coeficiente k_c é dado em F.2.		

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar carga crítica de flambagem elástica

$$Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 100}{(0,5 \cdot 269,5)^2} = 1114,28 \text{ kN}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \rightarrow I_y = r_y^2 \cdot A = 3,73^2 \cdot 18,58 = 258,5 \text{ cm}^4$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad Ne_y = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 258,5}{(0,5 \cdot 539)^2} = 720,10 \text{ kN}$$

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar χ (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 18,58 \cdot 25}{720,10}} = 0,80$$

5.3.3 Fator de redução χ

5.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, χ , é dado por:

$$\text{- para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$\text{- para } \lambda_0 > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,658^{0,80^2} = 0,765$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,765 \cdot 1 \cdot 18,58 \cdot 25}{1,1} = 323 \text{ kN}$$

RESOLUÇÃO:

Passo 4 – Determinar a distância máxima entre duas chapas espaçadoras consecutivas

5.3.4 Limitação do índice de esbeltez

5.3.4.1 O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como a maior relação entre o produto KL e o raio de giração correspondente r , portanto KL/r , onde K é o coeficiente de flambagem fornecido por E.2.1.1, E.2.1.2 ou E.2.1.3, o que for aplicável, e L é o comprimento destravado, não deve ser superior a 200.

5.3.4.2 Barras compostas, formadas por dois ou mais perfis trabalhando em conjunto, em contato ou com afastamento igual à espessura de chapas espaçadoras, devem possuir ligações entre esses perfis a intervalos tais que o índice de esbeltez ℓ/r de qualquer perfil, entre duas ligações adjacentes, não seja superior a $1/2$ do índice de esbeltez da barra composta (KL/r), onde K é fornecido por E.2.1.1, E.2.1.2 ou E.2.1.3, o que for aplicável, conforme ilustra a Figura 12. Para cada perfil componente, o índice de esbeltez deve ser calculado com o seu raio de giração mínimo. Adicionalmente, pelo menos duas chapas espaçadoras devem ser colocadas ao longo do comprimento, uniformemente espaçadas.

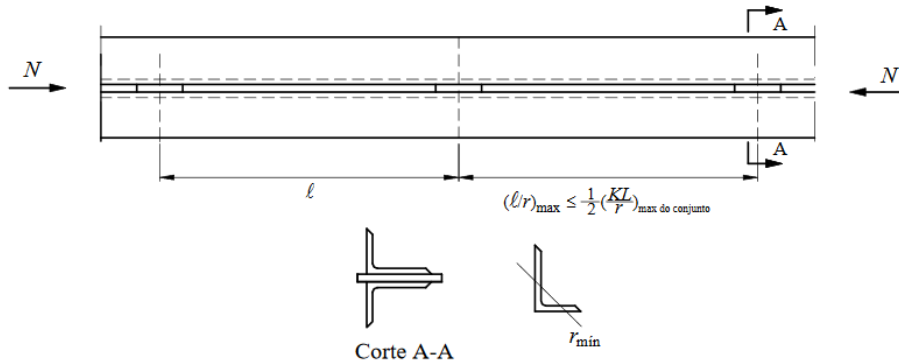


Figura 12 — Barra composta comprimida

$$\frac{l}{r} \max = \frac{1}{2} \cdot \frac{k \cdot L}{r} \text{ conj}$$

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} = \frac{0,5 \cdot 269,5}{2,36} = 57,09$$

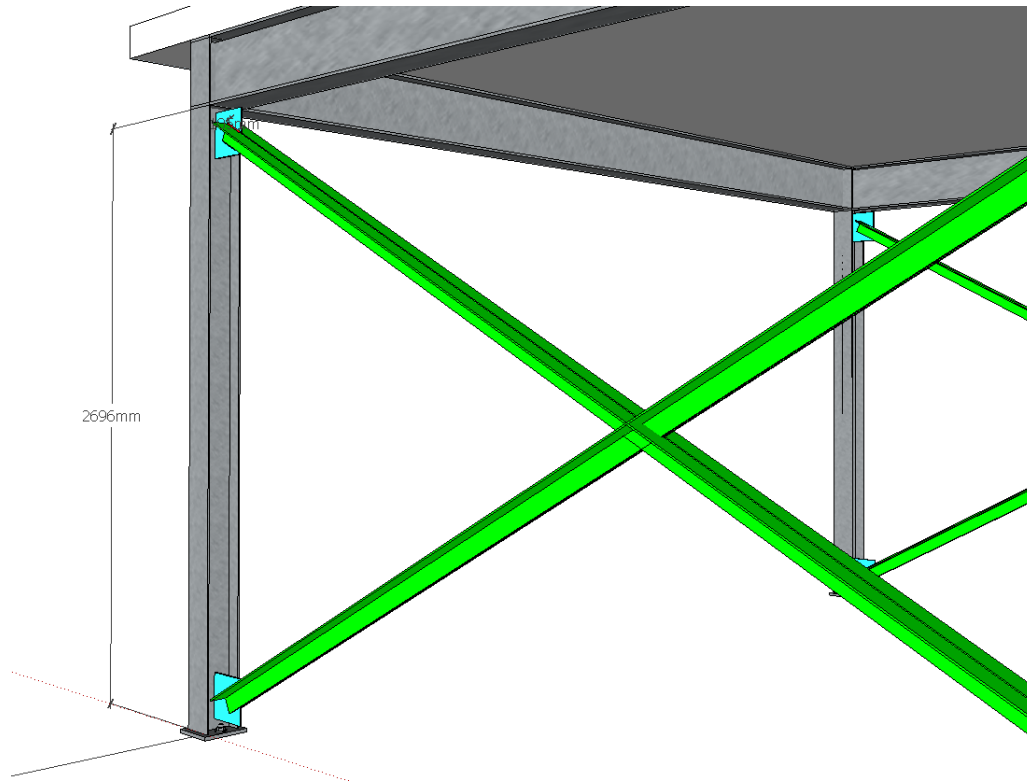
$$\lambda_y = \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} = \frac{0,5 \cdot 539}{3,73} = 72,25$$

$$\frac{l}{1,50} = \frac{1}{2} \cdot 72,25$$

$$l = \frac{1,5 \cdot 72,25}{2} = 54,19 \text{ cm}$$

Lembrando que a norma estabelece que devemos instalar duas chapas espaçadoras adicionais

Exercício 05 - Considere o Pilar W150X22,5(H) ASTM A572GR50 da Figura.



Determine a máxima carga de compressão à qual o pilar pode ser solicitado.
Considere a base articulada e a cabeça engastada em X e em Y

PROPRIEDADES MECÂNICAS						
	ASTM A 572 Grau 50	ASTM A 572 Grau 60*	ASTM A 992*	AÇO COR 500*	ASTM A 131 AH32*	ASTM A 131 AH36*
Limite de Escoamento (MPa)	345 mín.	415 mín.	345 a 450	370 mín.	315 mín.	355 mín.
Limite de Resistência (MPa)	450 mín.	520 mín.	450 mín.	500 mín.	440 a 590	490 a 620
Alongamento após ruptura (%)	18 mín.	16 mín.	18 mín.	18 mín.	19 mín.	19 mín.

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

RESOLUÇÃO:

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d'	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _t cm	I _t cm ⁴	ESBELTEZ		C _w cm ⁵	u m ² /m	BITOLA in x lb/ft
				t _e mm	t _f mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			MESA - λ _y b _f /2t _e	ALMA - λ _w d'/t _w			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4.181	0,67	W 6 x 8,5
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6.683	0,69	W 6 x 12
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20.417	0,88	W 6 x 15
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10.206	0,69	W 6 x 16
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30.277	0,90	W 6 x 20
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39.930	0,91	W 6 x 25
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8.222	0,77	W 8 x 10
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11.098	0,79	W 8 x 13
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13.868	0,79	W 8 x 15
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32.477	0,92	W 8 x 18
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40.822	0,93	W 8 x 21
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69.502	1,03	W 8 x 24
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83.948	1,04	W 8 x 28
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141.342	1,19	W 8 x 31
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166.710	1,19	W 8 x 35
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155.075	1,20	HP 8 x 36

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{k \cdot L}{r} \leq 200$$

$$\lambda_x = \frac{kx \cdot Lx}{rx} = \frac{0,7 \cdot 269,6}{6,51} = 28,98 \text{ OK}$$

$$\lambda_y = \frac{ky \cdot Ly}{ry} = \frac{0,7 \cdot 269,6}{3,65} = 51,70 \text{ OK}$$

a meta é preencher: $N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1}$

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K _x ou K _y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	   	Rotação e translação impedidas				
	   	Rotação livre, translação impedida				
	   	Rotação impedida, translação livre				
	   	Rotação e translação livres				

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

Perfil composto apenas por elementos AA e AL

Qs

$$\frac{b}{t} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,56 \sqrt{\frac{20500}{34,5}} \rightarrow 13,65$$

$$\frac{b}{t} = \frac{b}{2tf} = 11,52 \text{ (tabela)} \quad Q_s = 1,0$$

Qa

$$\frac{b}{t} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 1,49 \sqrt{\frac{20500}{34,5}} \rightarrow 36,32$$

$$\frac{b}{t} = \frac{h}{tw} = 20,48 \text{ (tabela)} \quad Q_a = 1,0$$

$$Q = Q_a \cdot Q_s = 1,0$$

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	- Mesas ou almas de seções tubulares retangulares - Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	- Almas de seções I, H ou U - Mesas ou almas de seção-caixão - Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	- Mesas de seções I, H, T ou U laminadas - Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas - Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	Mesas de seções I, H, T ou U soldadas ^a		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

^a O coeficiente k_c é dado em F.2.

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar carga crítica de flambagem elástica

$$Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 1229}{(0,7 \cdot 269,6)^2} = 6981,83 \text{ kN}$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad Ne_y = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 387}{(0,7 \cdot 269,6)^2} = 2198,51 \text{ kN}$$

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x^2 + y^2} = \sqrt{6,51^2 + 3,65^2} = 7,46 \text{ cm}$$

$$N_{Ez} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z L_z)^2} + G \cdot I_t}{(r_0)^2} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 20417}{(1,269,6)^2} + 7700 \cdot 4,75}{(7,46)^2} = 1678,45 \text{ kN}$$

E.2.2 Coeficiente de flambagem por torção

O coeficiente de flambagem por torção, K_z , função das condições de contorno, deve ser determinado por análise estrutural, ou, simplificada, tomado igual a:

- 1,00, quando ambas as extremidades da barra possuírem rotação em torno do eixo longitudinal impedida e empenamento livre;
- 2,00, quando uma das extremidades da barra possuir rotação em torno do eixo longitudinal e empenamento livres e, a outra extremidade, rotação e empenamento impedidos.

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar χ (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 29 \cdot 34,5}{1678,45}} = 0,772$$

5.3.3 Fator de redução χ

5.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, χ , é dado por:

$$\text{- para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$\text{- para } \lambda_0 > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,658^{0,772^2} = 0,7792$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,7792 \cdot 1 \cdot 29 \cdot 34,5}{1,1} = 708,72 \text{ kN}$$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 06 - Considere a dupla cantoneira parafusada a seguir

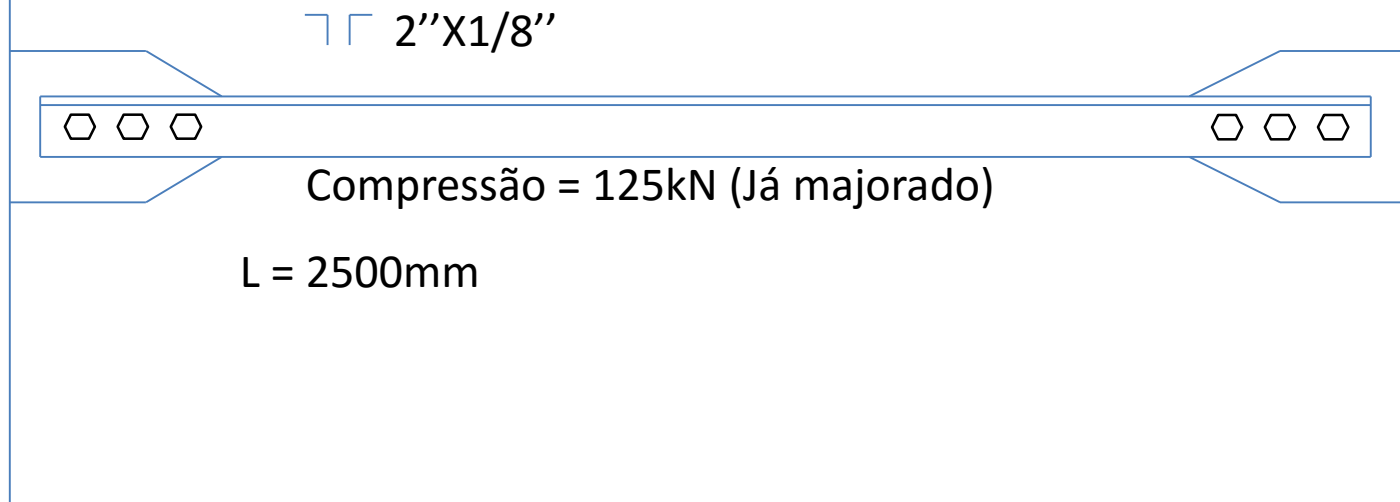
A distância entre os parafusos de ligação é 40mm

O diâmetro dos parafusos é 12,7mm

Verifique se o perfil utilizado está aprovado

a chapa de ligação tem espessura 5/16"

ASTM A36



RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{k \cdot L}{r} \leq 200$$

$$\lambda_x = \frac{kx \cdot Lx}{rx} = \frac{1 \cdot 250}{1,60} = 156,25 \text{ OK}$$

$$\lambda_y = \frac{ky \cdot Ly}{ry} = \frac{1 \cdot 250}{2,40} = 104,16 \text{ OK}$$

a meta é preencher: $N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1}$

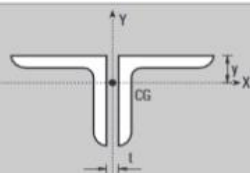


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,94	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,90
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	40,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

Perfil composto apenas por elementos AL

$$\frac{b}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,45 \sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12,88$$

$$\frac{b}{t} = \frac{50,8}{3,2} = 15,87 > 12,88$$

F.2 Elementos comprimidos AL

Os valores de Q_s a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes.

a) elementos do Grupo 3 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,53 E}{f_y \left(\frac{b}{t} \right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	— Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixão — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	— Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas ^a		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	— Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

^a O coeficiente k_c é dado em F.2.

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

$$0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,91 \sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 26,04$$

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \cdot \frac{b}{t} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \cdot \frac{50,8}{3,2} \cdot \sqrt{\frac{25}{20500}} = 0,9186$$

F.2 Elementos comprimidos AL

Os valores de Q_s a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes.

a) elementos do Grupo 3 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,53 E}{f_y \left(\frac{b}{t} \right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar carga crítica de flambagem elástica

$$Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 15,82}{(1 \cdot 250)^2} = 51,21 \text{ kN}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \rightarrow I_y = r_y^2 \cdot A = 2,4^2 \cdot 6,2 = 35,17 \text{ cm}^4$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad Ne_y = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 35,17}{(1 \cdot 250)^2} = 113,86 \text{ kN}$$

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar χ (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{0,9186 \cdot 6,20 \cdot 25}{51,21}} = 1,667$$

5.3.3 Fator de redução χ

5.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, χ , é dado por:

$$\text{- para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$\text{- para } \lambda_0 > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda^2} = \frac{0,877}{1,667^2} = 0,3155$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,3155 \cdot 0,9186 \cdot 6,20 \cdot 25}{1,1} = 40,83 \text{ kN} < 125 \text{ kN}$$

–PERFIL REPROVADO

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 07 - COM BASE NO RESULTADO ANTERIOR DETERMINE O PERFIL DE CANTONEIRA ADEQUADO PARA SUPORTAR A CARGA AXIAL DE COMPRESSÃO SOLICITADA

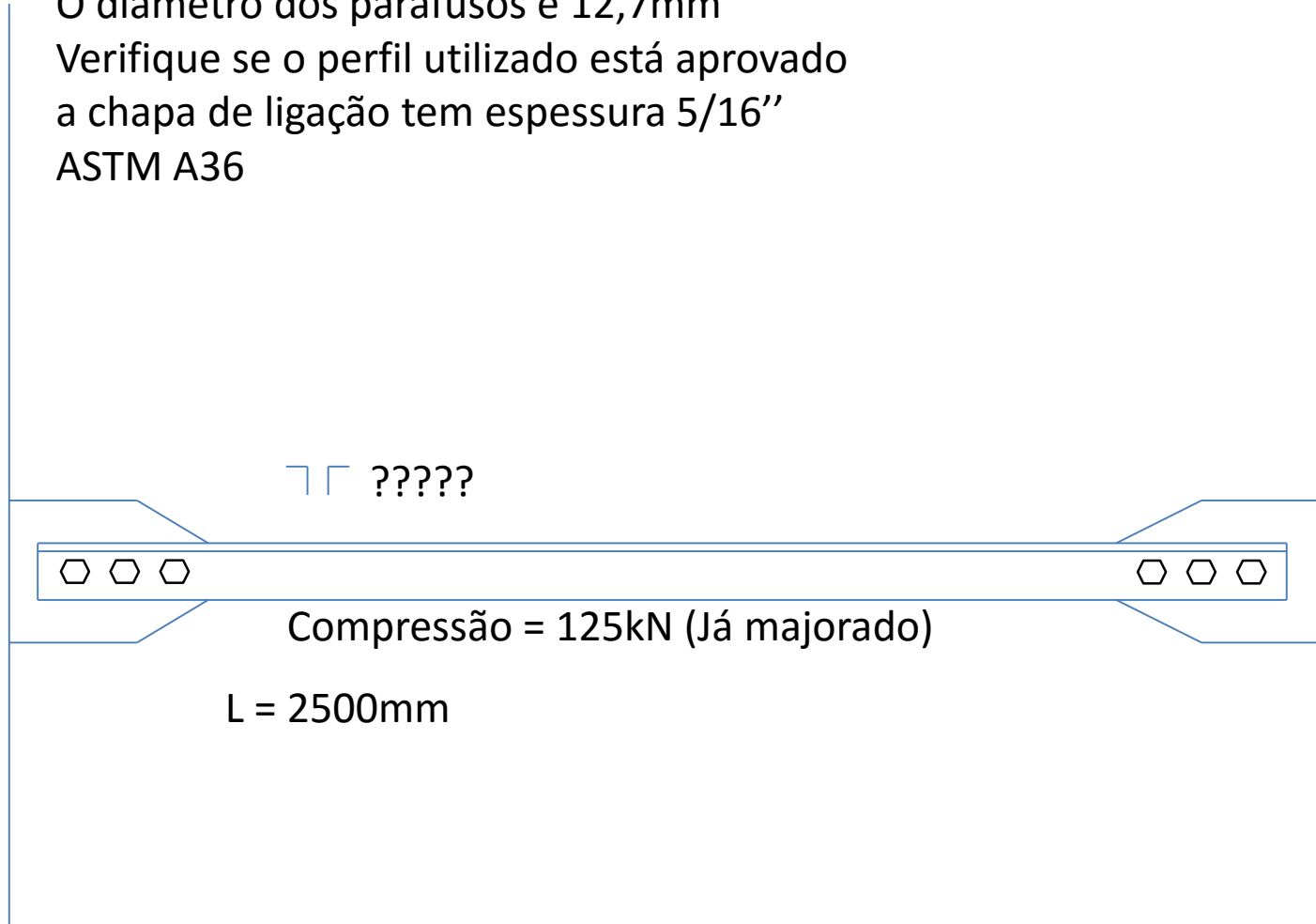
A distância entre os parafusos de ligação é 40mm

O diâmetro dos parafusos é 12,7mm

Verifique se o perfil utilizado está aprovado

a chapa de ligação tem espessura 5/16"

ASTM A36



RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{k \cdot L}{r} \leq 200$$

$$\lambda_x = \frac{kx \cdot Lx}{rx} = \frac{1 \cdot 250}{rx} \leq 200$$

$$rx \text{ e } ry \geq \frac{1.250}{200} \geq 1,25$$

a meta é preencher: $N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1}$

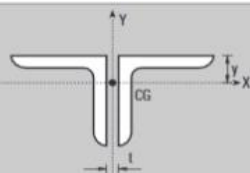


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,94	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,90
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	40,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Pré dimensionamento

Devemos estimar X.Q para partirmos de um perfil e realizar tentativa e erro. Um número razoável é entre 0,4 e 0,6.

Adotaremos 0,5 para este caso, arbitrariamente

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1}$$

$$125 = \frac{0,5 \cdot A_g \cdot 25}{1,1}$$

$$A_g = \frac{125 \cdot 1,1}{0,5 \cdot 25} = 11cm^2$$

Entre os perfis possíveis, vamos selecionar L3'' X 3/16 por ser comum. Mas outra escolha não estaria errado.

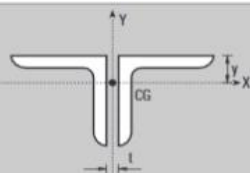


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm						
					I	W	r	y	t						
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,90
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	40,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

RESOLUÇÃO:

Passo 2.1 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

Perfil composto apenas por elementos AL

$$\frac{b}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,45 \sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 12,88$$

$$\frac{b}{t} = \frac{76,2}{4,76} = 16,00 > 12,88$$

F.2 Elementos comprimidos AL

Os valores de Q_s a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes.

a) elementos do Grupo 3 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,53 E}{f_y \left(\frac{b}{t} \right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Tabela F.1 — Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	— Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixão — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	— Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas ^a		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	— Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

^a O coeficiente k_c é dado em F.2.

RESOLUÇÃO:

Passo 2 – Determinar Q (Coeficiente de flambagem local)

$$0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 0,91 \sqrt{\frac{20500}{25}} \rightarrow 26,04$$

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \cdot \frac{b}{t} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \cdot 16 \cdot \sqrt{\frac{25}{20500}} = 0,9153$$

F.2 Elementos comprimidos AL

Os valores de Q_s a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes.

a) elementos do Grupo 3 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,53 E}{f_y \left(\frac{b}{t} \right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar X (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar carga crítica de flambagem elástica

$$Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad Ne_x = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 80}{(1 \cdot 250)^2} = 258,97 \text{ kN}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \rightarrow I_y = r_y^2 \cdot A = 3,61^2 \cdot 14,06 = 183,23 \text{ cm}^4$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad Ne_y = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 183,23}{(1 \cdot 250)^2} = 593,13 \text{ kN}$$

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Determinar χ (Coeficiente de flambagem Global)

Determinar λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{0,9153 \cdot 14,06 \cdot 25}{258,97}} = 1,11$$

5.3.3 Fator de redução χ

5.3.3.1 O fator de redução associado à resistência à compressão, χ , é dado por:

$$\text{- para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$\text{- para } \lambda_0 > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\chi = 0,658^{1,11^2} = 0,5970$$

Passo 4 – Preencher a fórmula:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,5970 \cdot 0,9153 \cdot 14,06 \cdot 25}{1,1} = 174,6 \text{ kN} > 125 \text{ kN}$$

–PERFIL APROVADO

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 08 - DETERMINE O PERFIL DE CANTONEIRA ADEQUADO PARA SUPORTAR A CARGA AXIAL DE TRAÇÃO SOLICITADA

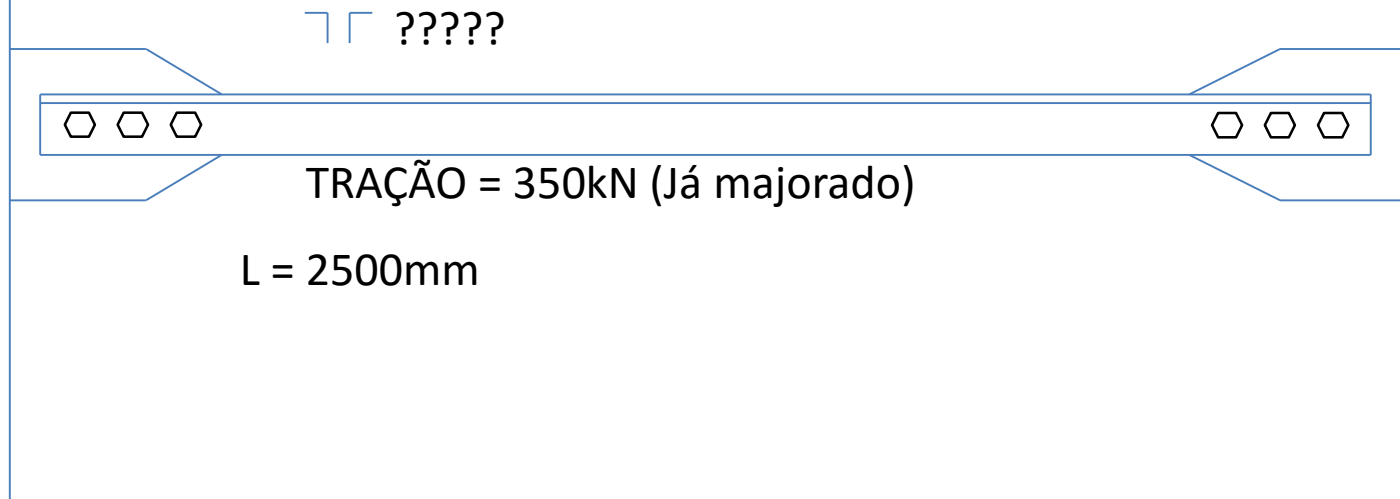
A distância entre os parafusos de ligação é 40mm

O diâmetro dos parafusos é 12,7mm

Verifique se o perfil utilizado está aprovado

a chapa de ligação tem espessura 5/16"

ASTM A36



RESOLUÇÃO:

Passo 1 – Verificar Esbeltez:

$$\lambda_{max} = \frac{L}{r} \leq 300$$

$$r > \frac{250}{300} > 0,83$$

Passo 2 – Verificar Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1}$$

$$A_g = \frac{350 \cdot 1,1}{25} = 15,4 \text{ cm}^2$$

Uma boa estimativa é um perfil com 10% a mais de área devido à verificação do ct posteriormente. Selecionaremos L3''X1/4''

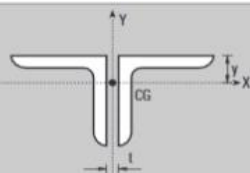


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f	Eixo X-X				Raio de giração em relação ao eixo Y-Y - cm							
					I	W	r	y	t							
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13	
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24	
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35	
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45	
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52	
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59	
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63	
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68	
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83	
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87	
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,90	
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08	
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11	
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14	
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33	
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35	
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39	
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44	
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59	
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63	
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64	
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67	
		13,98	17,52	3/8"	40,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71	
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36	
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,83	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39	
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42	
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46	
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85	
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86	
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92	
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98	
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99	
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01	
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88	
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,60	3,15	2,84	4,24	4,40	4,52	4,58	4,69	4,81	4,93	
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98	
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00	
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03	
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06	
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10	
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97	
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03	
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09	
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14	
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00	
		58,40	74,18	1/2"	1656,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04	
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11	
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18	
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22	

RESOLUÇÃO:

Passo 3 – Verificar Ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{Ct \cdot A_n \cdot F_u}{1,35} \quad A_n = 18,58 - (1,27 + 0,15 + 0,2) \cdot 0,635 = 17,55 \text{ cm}^2$$

$$Ct = 1 - \frac{e_c}{l_c} \rightarrow Ct = 1 - \frac{2,13}{2 \cdot 4} \rightarrow Ct = 0,73$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,73 \cdot 17,55 \cdot 40}{1,35} = 379,6 \text{ kN} > 350 \text{ kN} - \text{OK}$$

VERIFICANDO NOVAMENTE O ESCOAMENTO DA SEÇÃO BRUTA

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{18,58 \cdot 25}{1,1} = 422,27 \text{ OK PERFIL APROVADO a 92\% da Resistência}$$