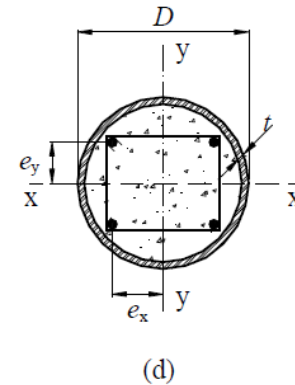
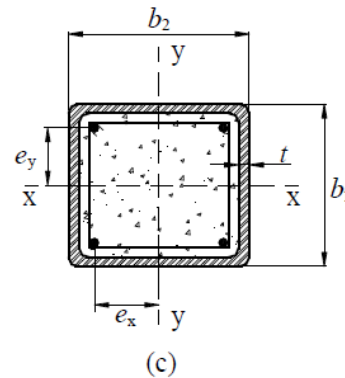
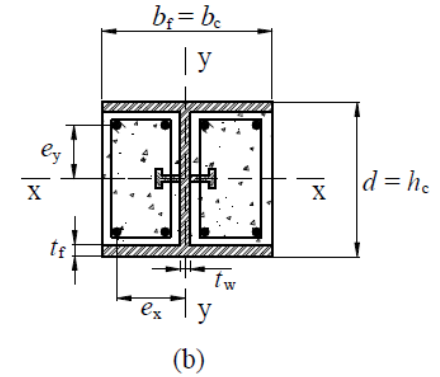
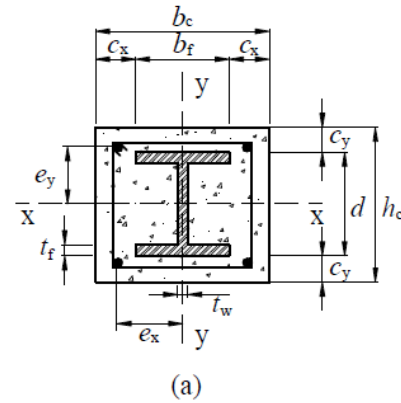
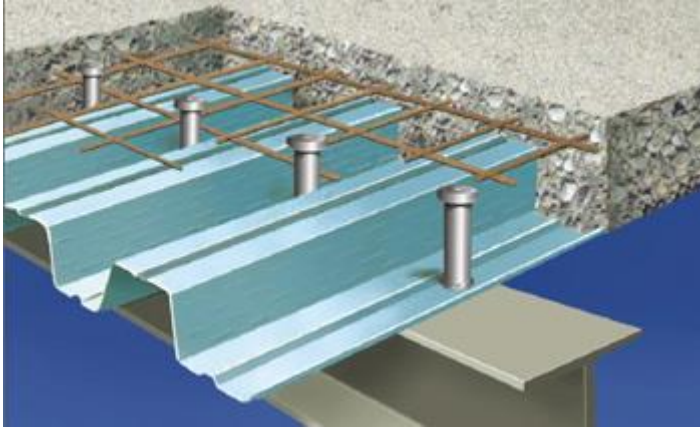


Estruturas Mistas

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

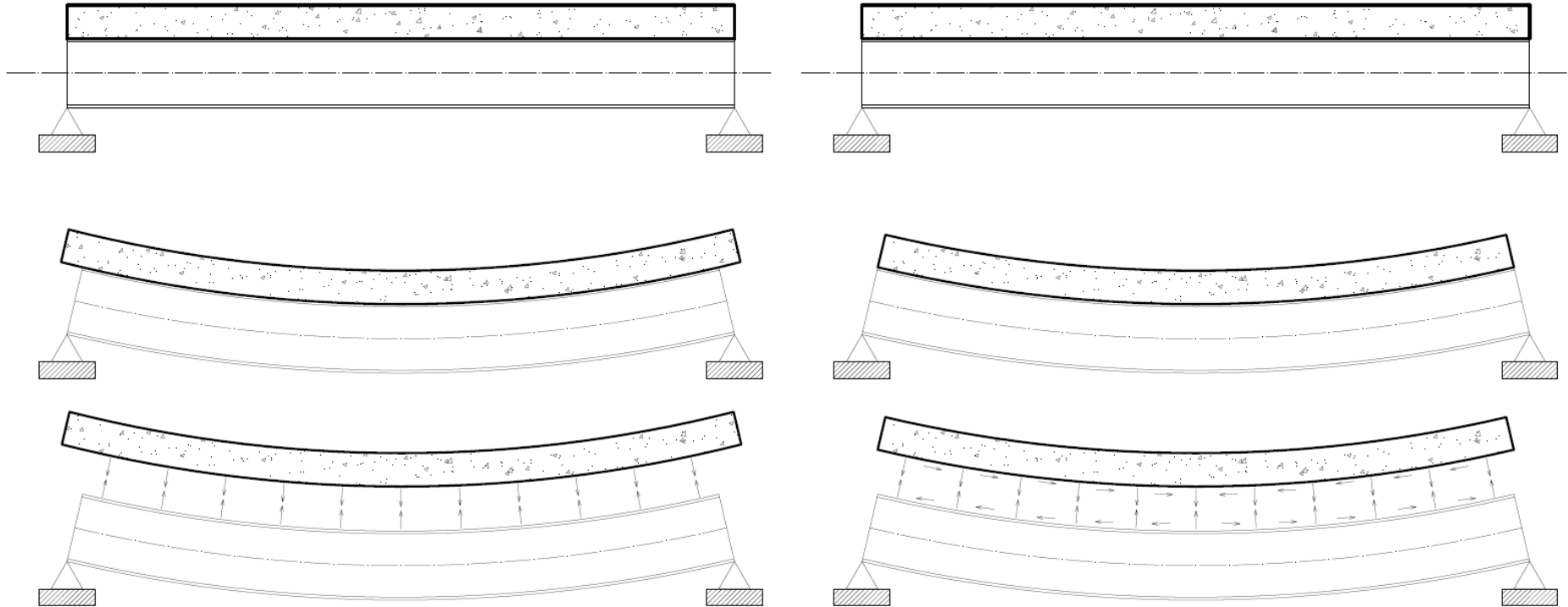
Estruturas Mistas de Aço-Concreto

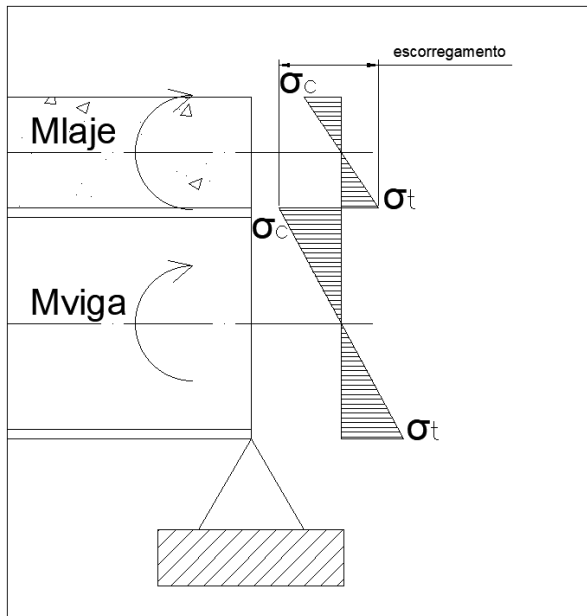


Vigas Mistas de Aço-Concreto (Anexo O NBR8800)

Pilares Mistos de Aço-Concreto (Anexo P NBR8800)

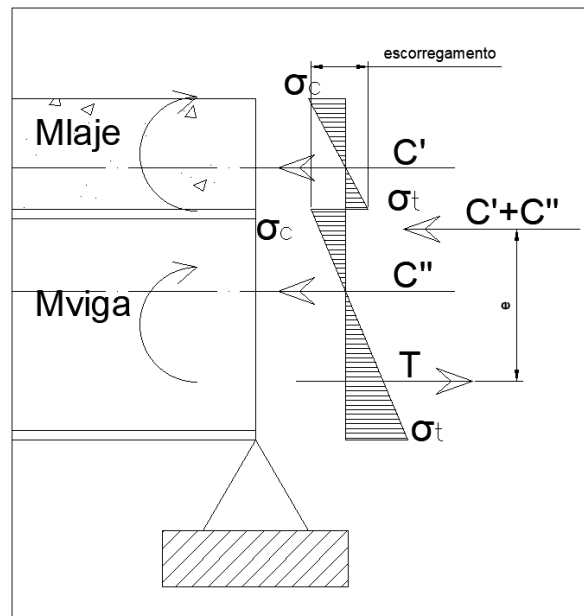
Estruturas Mistas de Aço-Concreto





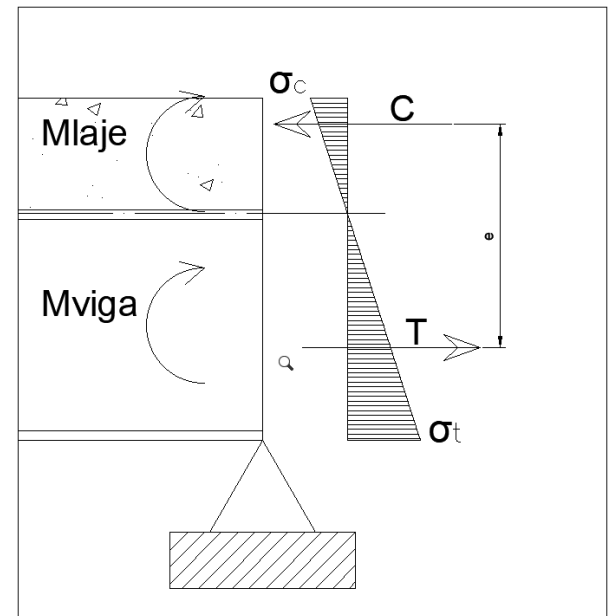
Sem Interação

$$\sum M_{Rd_{isol}} = M_{Rd_{viga}} + M_{Rd_{laje}}$$



Interação Parcial

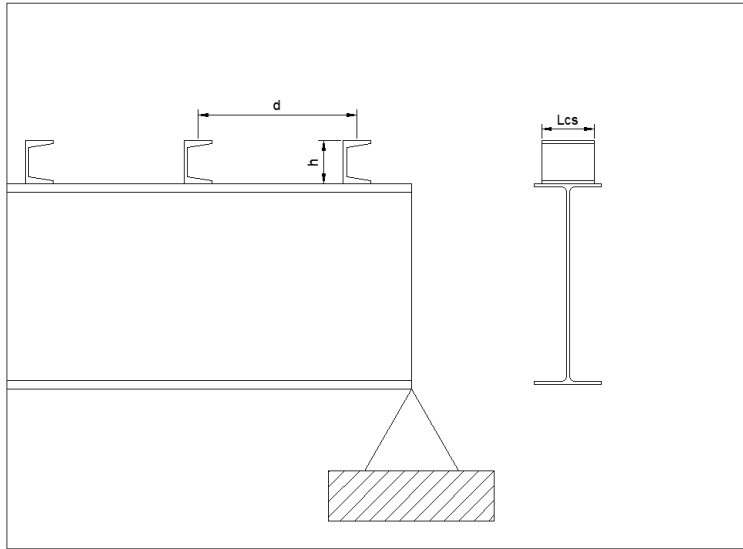
$$\sum M_{Rd_{mista}} = T \cdot e = (C' + C'') \cdot e > M_{Rd_{isol}}$$



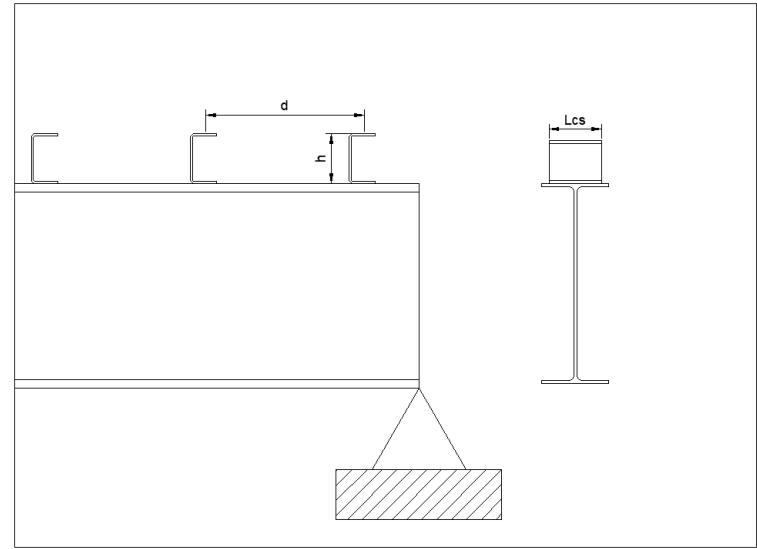
Interação Total

$$\sum M_{Rd_{mista}} = T \cdot e = C \cdot e > M_{Rd_{isol}}$$

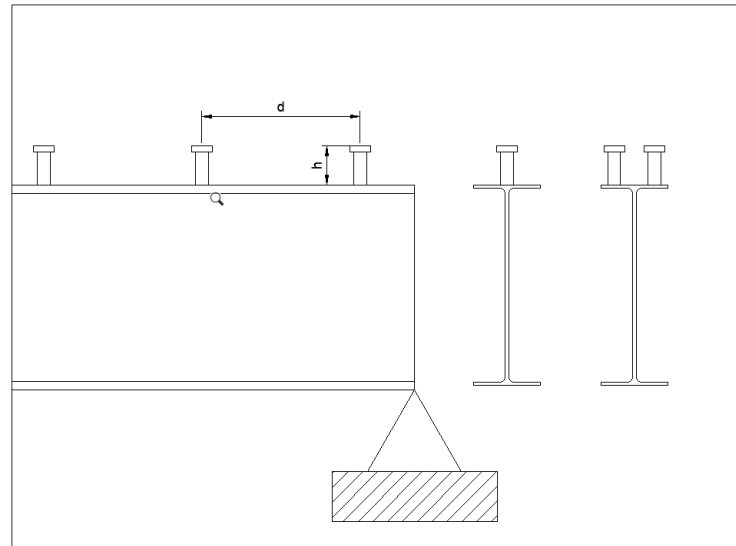
Conectores de Cisalhamento (U Laminado)



Conectores de Cisalhamento (U Formado a Frio)



Conectores de Cisalhamento (Stud Bolt)



Resistência de Conectores em perfis U (laminado ou Formado a frio)

Apenas para laje maciça
Altura do perfil U $\geq 75\text{mm}$

$$Q_{Rd} = \frac{0,3 \cdot (t_{fcs} + 0,5t_{wcs}) \cdot L_{cs} \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}}$$

γ_{cs} = 1,25 para combinações últimas Normas e 1,10 para combinações excepcionais

t_{fcs} = espessura da mesa do perfil (no caso de U laminado é a altura tomada na metade da largura da mesa)

t_{wcs} = Espessura da alma do perfil U

L_{cs} = comprimento do perfil U

E_c = Módulo de elasticidade secante do concreto

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

Resistência de Stud Bolts

A resistência de Cálculo dos Stud bolts com laje de concreto Maciça de face inferior plana e apoiada na viga é o menor valor entre:

$$Q_{Rd} = \frac{A_{cs} \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}}$$

$$Q_{Rd} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{u_{cs}}}{\gamma_{cs}}$$

Onde:

$F_{ucs} = 41,5 \text{ kN/cm}^2$

$F_{ycs} = 34,5 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_{cs} = 1,25$ para combinações últimas Normas e $1,10$ para combinações excepcionais

A_{cs} = Área da seção transversal do Conector

F_{ucs} = Resistência à Ruptura do Conector

E_c = Módulo de Elasticidade Secante do Concreto

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

R_g = Coeficiente para considerar o efeito de atuação do grupo de conectores

R_p = Coeficiente de posição do conector

Resistência de Stud Bolts

Sendo:

h_f = altura das nervuras da fôrma de aço, igual ou inferior a 75mm

b_f = largura média da nervura situada sobre o perfil de aço, igual ou superior a 50mm

Adotar $R_g = 1$ quando:

- a) Um conector for soldado em uma nervura de fôrma de aço perpendicular ao perfil de aço
- b) Para qualquer número de conectores soldados diretamente sobre a viga de aço
- c) Para qualquer número de conectores soldados em uma nervura paralela ao perfil com relação $b_f/h_f \geq 1,5$

Adotar $R_g = 0,85$ quando:

- d) dois conectores forem soldados em uma nervura de fôrma de aço perpendicular ao perfil de aço
- e) Para qualquer número de conectores soldados em uma nervura paralela ao perfil com relação $b_f/h_f < 1,5$

Adotar $R_g = 0,7$ quando:

- f) três ou mais conectores forem soldados em uma nervura de fôrma de aço perpendicular ao perfil de aço

Resistência de Stud Bolts

Sendo:

Adotar $R_p = 1,0$ quando:

a) Quando os conectores forem soldados diretamente no perfil de aço e, no caso de haver nervuras paralelas a esse perfil, pelo menos 50% da largura da mesa deve estar em contato direto com o concreto

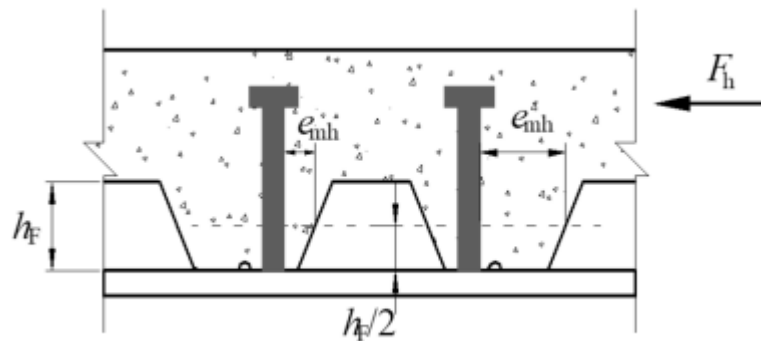
Adotar $R_p = 0,75$ quando:

b) Para conectores soldados em uma laje mista com nervuras perpendiculares ao perfil e e_{mh} igual ou superior a 50mm

c) Para conectores soldados em uma laje mista com nervuras paralelas ao perfil de aço

Adotar $R_p = 0,60$ quando:

b) Para conectores soldados em uma laje mista com nervuras perpendiculares ao perfil e e_{mh} menor que 50mm



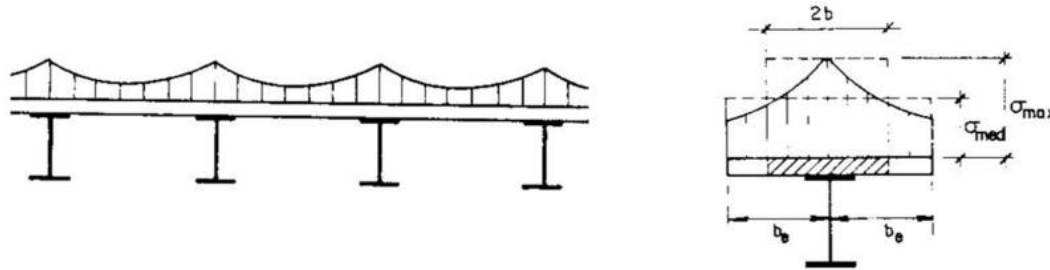
Vigas Mistas

Sistema Escorado

As vigas devem ser escoradas até que o concreto atinja a resistência suficiente para que o efeito misto seja obtido

Sistema Não Escorado

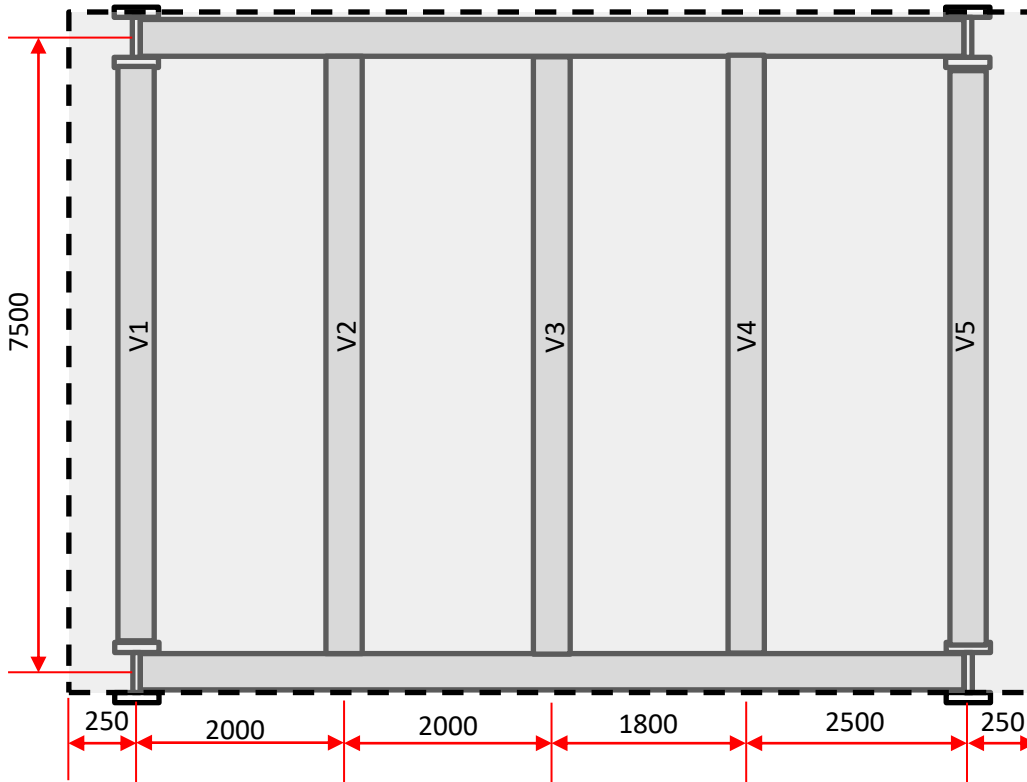
As vigas são calculadas para suportar o peso do concreto fresco, sem necessidade de escoramento durante a obra



Largura efetiva da laje (vigas bi-apoiadas): b_{ef} = Soma das larguras efetivas para cada lado do eixo da viga, respeitando-se os limites:

- a) $L/8$
- b) metade da distância até o eixo da viga adjacente
- c) Distância até a face da laje

Exemplo:



V1:

Esquerda

$$\frac{L}{8} = \frac{7,5}{8} = 0,937m \quad \text{ou } 0,25m$$

Direita

$$\frac{L}{8} = \frac{7,5}{8} = 0,937m \quad \text{ou } \frac{2}{2} = 1,0m$$

$$b_{ef} = 0,25 + 0,937 = 1,19m$$

V2:

Esquerda

$$\frac{L}{8} = \frac{7,5}{8} = 0,937m \quad \text{ou } \frac{2}{2} = 1$$

Direita

$$\frac{L}{8} = \frac{7,5}{8} = 0,937m \quad \text{ou } \frac{2}{2} = 1,0m$$

$$b_{ef} = 0,937 + 0,937 = 1,87m$$

V3:

Esquerda

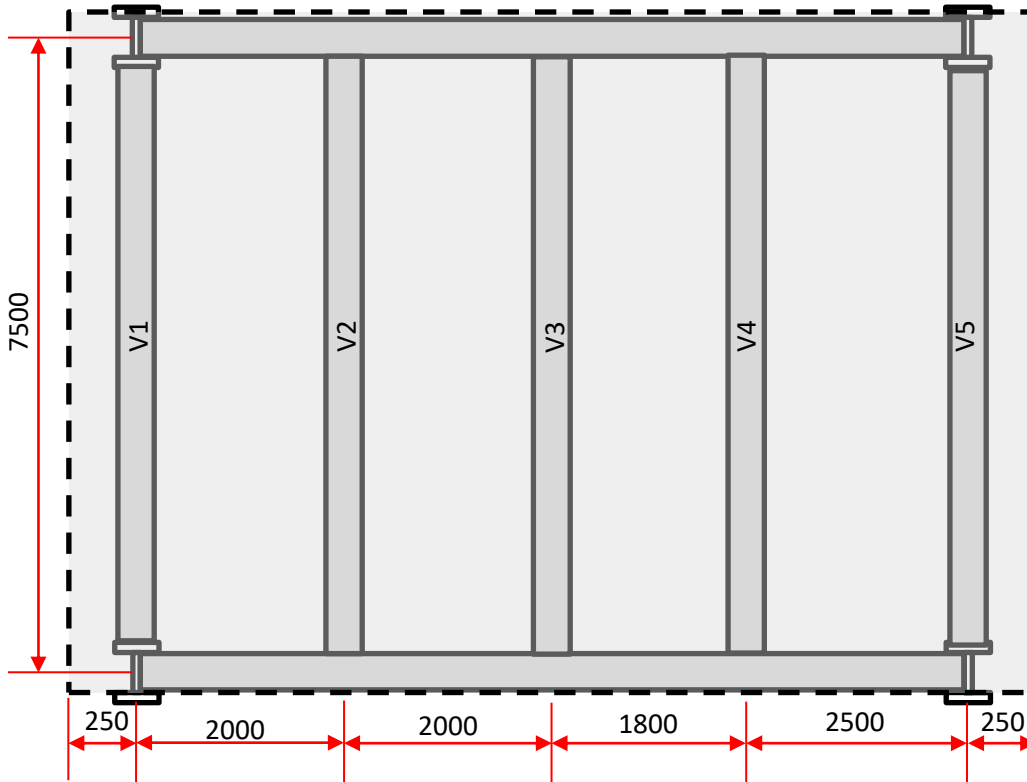
$$\frac{L}{8} = \frac{7,5}{8} = 0,937m \quad \text{ou } \frac{2}{2} = 1$$

Direita

$$\frac{L}{8} = \frac{7,5}{8} = 0,937m \quad \text{ou } \frac{1,8}{2} = 0,9m$$

$$b_{ef} = 0,937 + 0,9 = 1,84m$$

Exemplo:



V4:

Esquerda

$$\frac{L}{8} = \frac{7,5}{8} = 0,937m \quad \text{ou} \quad \frac{1,8}{2} = 0,9m$$

Direita

$$\frac{L}{8} = \frac{7,5}{8} = 0,937m \quad \text{ou} \quad \frac{2,5}{2} = 1,25m$$

$$b_{ef} = 0,9 + 0,937 = 1,84m$$

V5:

Esquerda

$$\frac{L}{8} = \frac{7,5}{8} = 0,937m \quad \text{ou} \quad \frac{2,5}{2} = 1,25$$

Direita

$$\frac{L}{8} = \frac{7,5}{8} = 0,937m \quad \text{ou} \quad 250mm$$

$$b_{ef} = 0,937 + 250 = 1,19m$$

Lajes de concreto com fôrma de aço incorporada (steel deck)

Limitações:

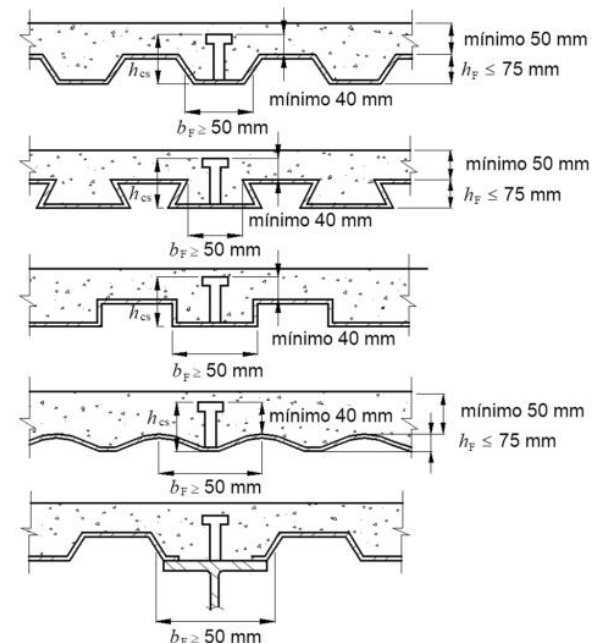
- a) a altura nominal h_F das nervuras da fôrma de aço deve ser igual ou inferior a 75 mm;
- b) a largura média b_F da mísula ou da nervura situada sobre a viga não pode ser inferior a 50 mm. Para efeito de cálculo, essa largura não pode ser tomada maior que a largura livre mínima no nível do topo da fôrma.
- c) a laje de concreto deve ser ligada à viga de aço por conectores tipo pino com cabeça, de diâmetro igual ou inferior a 19 mm (AWS D1.1). Os conectores podem ser soldados à viga através da fôrma ou diretamente, fazendo-se furos na fôrma no segundo caso; no caso de solda através da fôrma são necessários cuidados especiais para garantir a fusão completa do conector com a viga, quando a espessura da fôrma for maior que 1,5 mm para fôrma simples e 1,2 mm no caso de uma fôrma superposta à outra, ou ainda quando a soma das espessuras das camadas de galvanização for maior que a correspondente a 385 g/m²;
- d) a projeção dos conectores acima do topo da fôrma, depois de instalados, não pode ser inferior a 40 mm;
- e) o cobrimento de concreto acima do topo da fôrma de aço não pode ser inferior a 50 mm;

Fôrmas com nervuras perpendiculares à viga de aço

- a) Nos cálculos, desprezar o concreto abaixo do topo da forma
- b) Para evitar arrancamento, a distância máxima entre conectores de cisalhamento deve ser menor ou igual a 450mm

Fôrmas com nervuras paralelas à viga de aço

- a) o concreto situado abaixo do topo da fôrma de aço pode ser incluído na determinação das propriedades da seção mista, desde que totalmente situado na zona comprimida e que as expressões dadas em Q.2.3 sejam corrigidas adequadamente para se levar em conta a nova geometria da laje;
- b) as fôrmas de aço podem ser interrompidas sobre a mesa superior da viga de aço, de modo a se obter uma mísula de concreto sobre a mesa. Neste caso, as fôrmas devem ser ponteadas com solda à viga;
- c) quando a altura nominal da nervura h_F for igual ou superior a 40 mm, a largura média da nervura b_F ou mísula sobre a viga não pode ser inferior a 50 mm, quando houver apenas um pino na seção transversal. Para cada pino adicional, essa largura deve ser acrescida de 4 vezes o diâmetro do pino;



Lajes de concreto com fôrma de aço incorporada (steel deck)

Espaçamentos máximos e mínimos:

$$d_{max} = 8 \cdot t_c$$

No caso de nervuras perpendiculares à viga, essa distância não pode exceder 915mm

Observe que para manter os 450mm do item anterior, é possível alternar conectores de cisalhamento com soldas tipo bujão, para evitar arrancamento da fôrma

$$d_{mín} = 6 \cdot D \text{ (laje maciça)}$$

$$d_{mín} = 4 \cdot D \text{ (steel deck)}$$

$$d_{mín} = \text{maior dimensão do perfil } U \text{ (altura ou largura)}$$

Exercício 1:

Calcular a Resistência de Cálculo QRd do conector tipo pino de cabeça (Stud Bolt), diâmetro 19mm, h= 76,2mm para a laje maciça ao lado

Considerar $f_{ck} = 25\text{Mpa}$

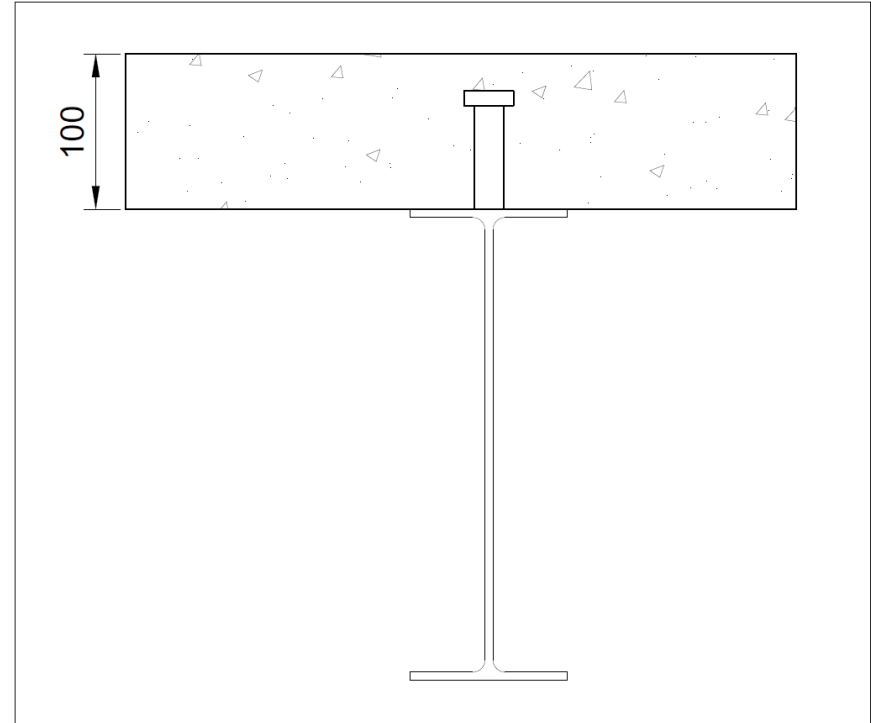
Resolução:

$$A_{cs} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow \frac{\pi \cdot 1,9^2}{4} = 2,84\text{cm}^2$$

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{25} = 23800 = 2380 \text{ kN/cm}^2$$

$$Q_{rd_1} = \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}} = \frac{2,84 \cdot \sqrt{25 \cdot 2380}}{2 \cdot 1,25} = \mathbf{88,33 \text{ kN}}$$

$$Q_{rd_2} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{ucs}}{\gamma_{cs}} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 2,84 \cdot 41,5}{1,25} = 94,3 \text{ kN}$$



Exercício 2:

Calcular a Resistência de Cálculo QRd do conector tipo Perfil U laminado h= 76,2mm, tw = 6,55mm e tf = 6mm para a laje maciça ao lado

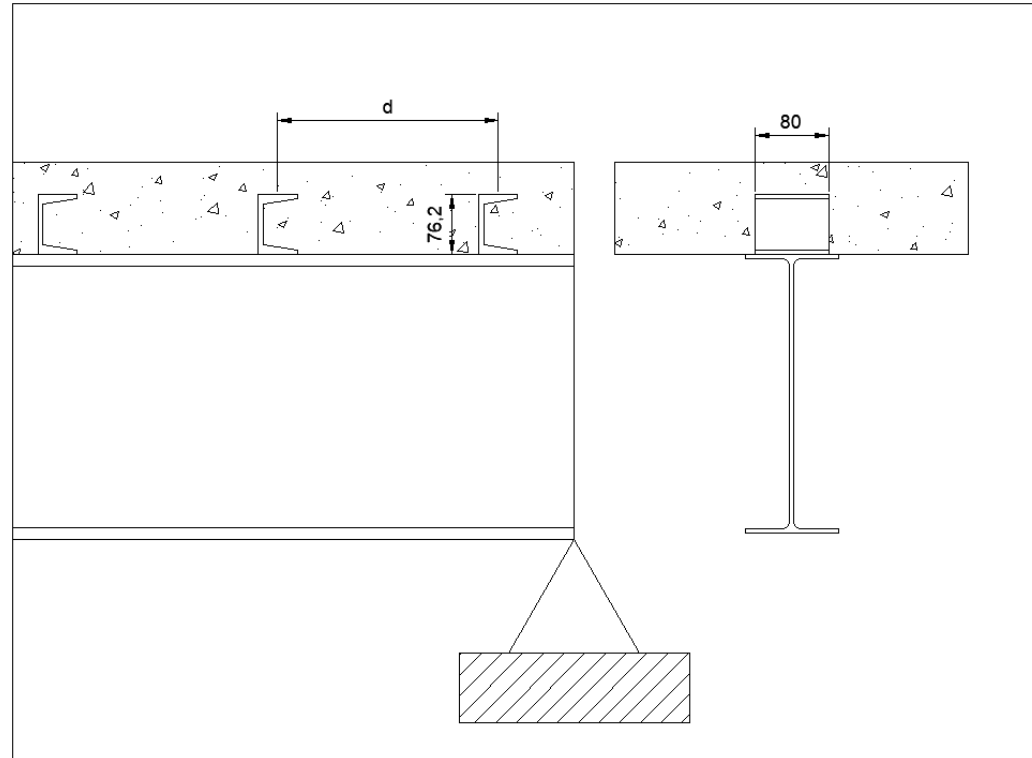
Considerar fck = 25Mpa

Resolução:

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{25} = 23800 = 2380 \text{ kN/cm}^2$$

$$Q_{Rd} = \frac{0,3 \cdot (t_{fcs} + 0,5t_{wcs}) \cdot L_{cs} \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}}$$

$$Q_{Rd} = \frac{0,3 \cdot (0,6 + 0,5 \cdot 0,655) \cdot 8 \cdot \sqrt{25 \cdot 2380}}{1,25} = 137 \text{ kN}$$



Exercício 3:

Calcular a Resistência de Cálculo QRd do conector tipo Perfil U formado a frio h= 75mm, t = 2,65mm para a laje maciça ao lado, com Lcs = 80mm

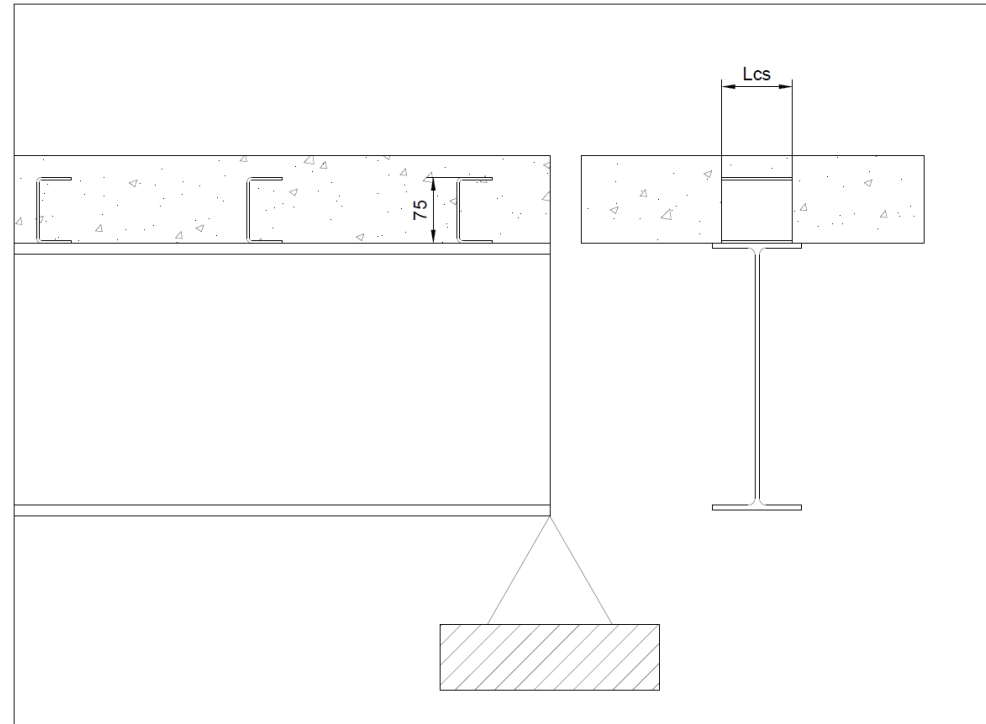
Considerar fck = 25Mpa

Resolução:

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{25} = 23800 = 2380 \text{ kN/cm}^2$$

$$Q_{Rd} = \frac{0,3 \cdot (t_{fcs} + 0,5t_{wcs}) \cdot L_{cs} \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}}$$

$$Q_{Rd} = \frac{0,3 \cdot (0,265 + 0,5 \cdot 0,265) \cdot 8 \cdot \sqrt{2,5 \cdot 2380}}{1,25} = 58,87 \text{ kN}$$



Exercício 4:

Calcular a Resistência de Cálculo QRd do conector tipo Stud bolt com nervuras longitudinais à viga

Considerar $f_{ck} = 25\text{Mpa}$

Resolução:

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{25} = 23800 = 2380 \text{ kN/cm}^2$$

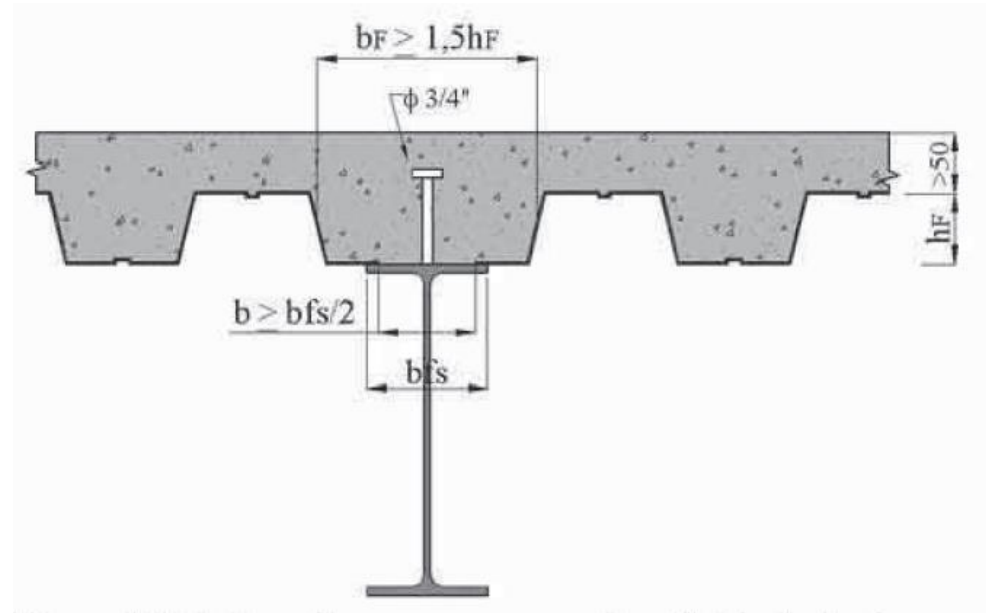
$$\frac{b_f}{h_f} > 1,5 \rightarrow R_g = 1,00$$

$R_p = 1$ (pelo menos 50% da mesa superior em contato com o concreto)

$$A_{cs} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow \frac{\pi \cdot 1,9^2}{4} = 2,84 \text{ cm}^2$$

$$Q_{rd_1} = \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}} = \frac{2,84 \cdot \sqrt{25 \cdot 2380}}{2 \cdot 1,25} = \mathbf{88,33 \text{ kN}}$$

$$Q_{rd_2} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{ucs}}{\gamma_{cs}} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 2,84 \cdot 41,5}{1,25} = 94,3 \text{ kN}$$



Exercício 5:

Calcular a Resistência de Cálculo QRd do conector tipo Stud bolt com nervuras perpendiculares à viga

Considerar $f_{ck} = 25\text{MPa}$

Resolução:

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{25} = 23800 = 2380 \text{ kN/cm}^2$$

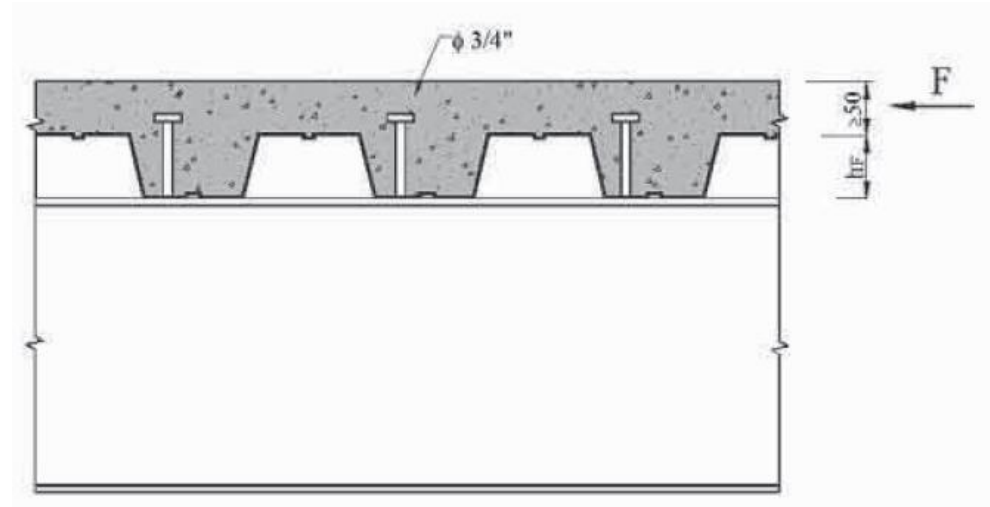
$$R_g = 1$$

$$R_p = 0,75$$

$$A_{cs} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow \frac{\pi \cdot 1,9^2}{4} = 2,84 \text{ cm}^2$$

$$Q_{rd1} = \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}} = \frac{2,84 \cdot \sqrt{25 \cdot 2380}}{2 \cdot 1,25} = 88,33 \text{ kN}$$

$$Q_{rd2} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{ucs}}{\gamma_{cs}} = \frac{1 \cdot 0,75 \cdot 2,84 \cdot 41,5}{1,25} = 70,71 \text{ kN}$$



Exercício 6:

Calcular a Resistência de Cálculo QRd do conector tipo Stud bolt com nervuras perpendiculares à viga
Considerando $e_{mh} > 50\text{mm}$ para ambos conectores

Considerar $f_{ck} = 25\text{MPa}$

Resolução:

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{25} = 23800 = 2380 \text{ kN/cm}^2$$

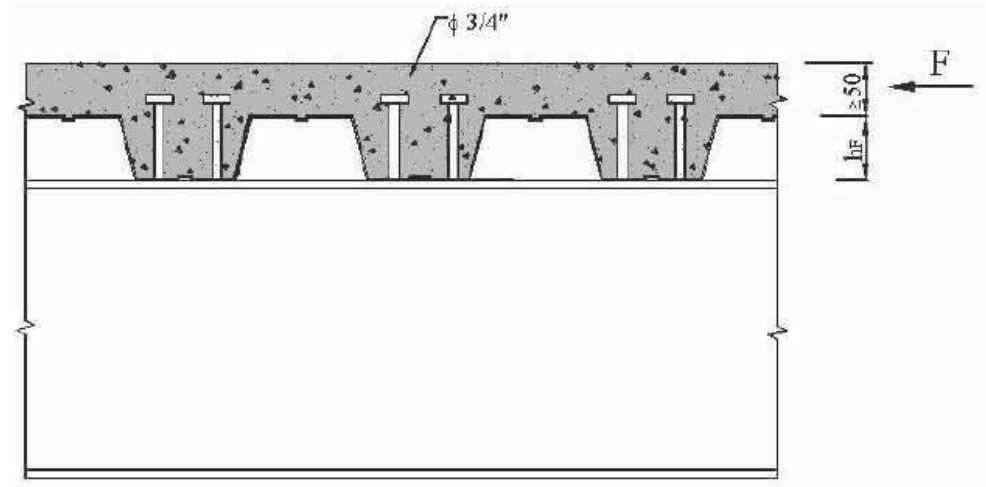
$R_g = 0,85$

$R_p = 0,75$

$$A_{cs} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow \frac{\pi \cdot 1,9^2}{4} = 2,84 \text{ cm}^2$$

$$Q_{rd1} = \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}} = \frac{2,84 \cdot \sqrt{25 \cdot 2380}}{2 \cdot 1,25} = 88,33 \text{ kN}$$

$$Q_{rd2} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{ucs}}{\gamma_{cs}} = \frac{0,85 \cdot 0,75 \cdot 2,84 \cdot 41,5}{1,25} = 60,10 \text{ kN}$$



Cálculo de Vigas Mistas

$$\frac{h}{t_w} < 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} - \text{Seções compactas ao FLA}$$

Interação TOTAL

$$N_{cRd(laje)} = \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4}$$

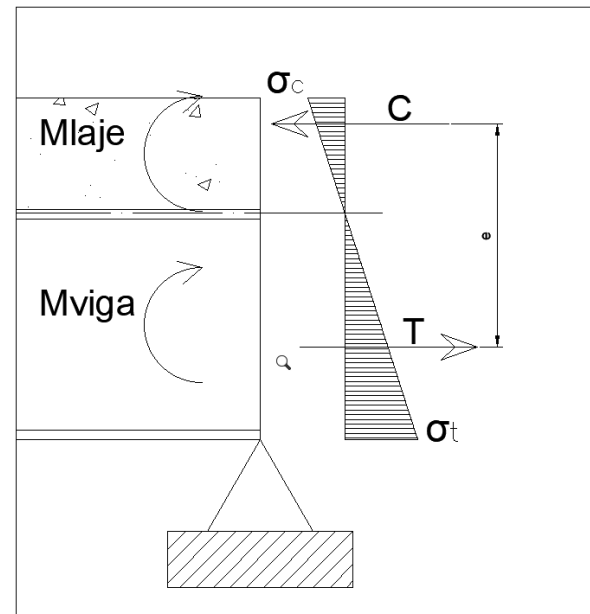
$$N_{tRd(viga)} = \frac{A_a \cdot F_y}{1,1}$$

Posições possíveis da linha Neutra

LNP na laje de concreto

LNP na mesa do perfil

LNP na Alma do perfil



Interação Total

LNP na laje de concreto

$$\sum Q_{Rd} \geq \frac{A_a \cdot F_y}{1,1}$$

$$\frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4} \geq \frac{A_a \cdot F_y}{1,1}$$

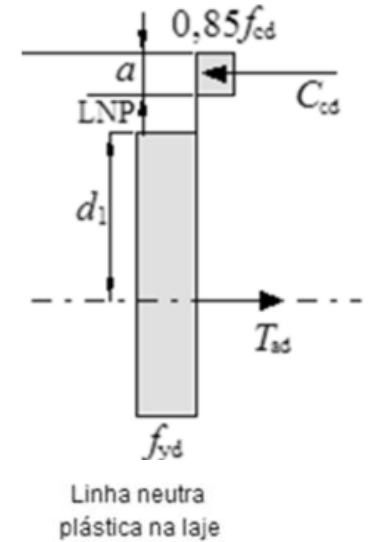
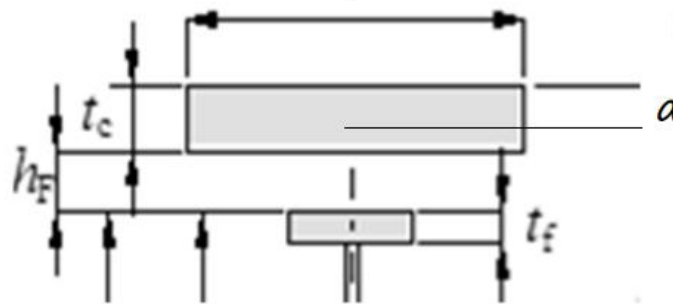
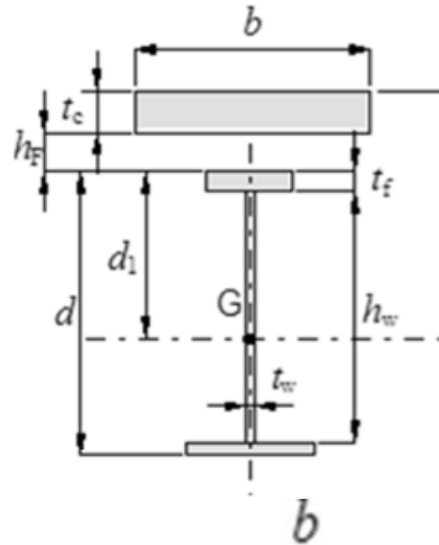
Assumindo que as condições acima sejam atendidas:

$$T_{ad} = \frac{A_a \cdot F_y}{1,1}$$

$$C_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot a}{1,4}$$

$$a = \frac{1,4 \cdot T_{ad}}{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b} < t_c$$

$$M_{Rd} = \beta_{vm} T_{ad} \left(d_1 + h_F + t_c - \frac{a}{2} \right)$$


$$\beta_{vm} = 1,0 \text{ para vigas bi - apoiadas}$$

LNP no perfil

$$\sum Q_{Rd} \geq \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4}$$

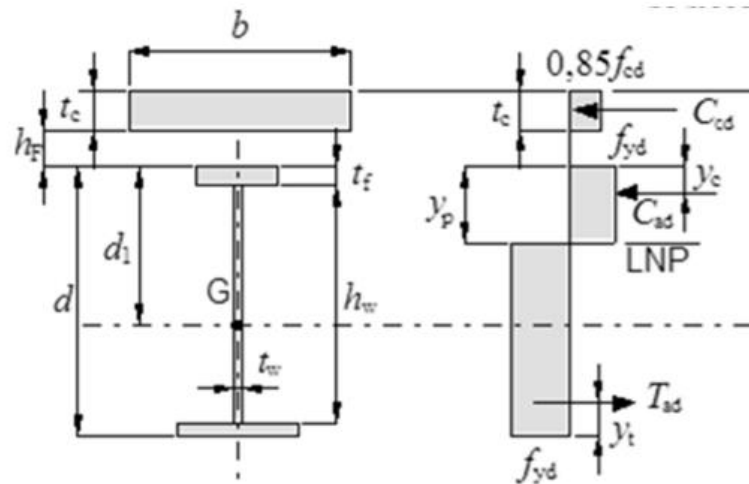
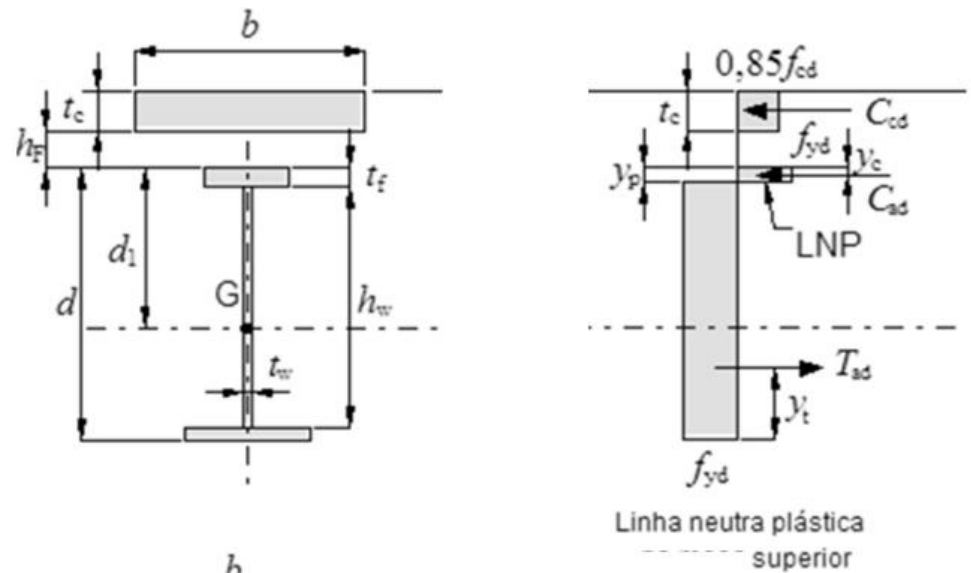
$$\frac{A_a \cdot F_y}{1,1} \geq \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4}$$

Assumindo que as condições acima sejam atendidas:

$$C_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4}$$

$$C_{ad} = \frac{(A_a \cdot F_y) - C_{cd}}{2}$$

$$T_{ad} = C_{cd} + C_{ad}$$



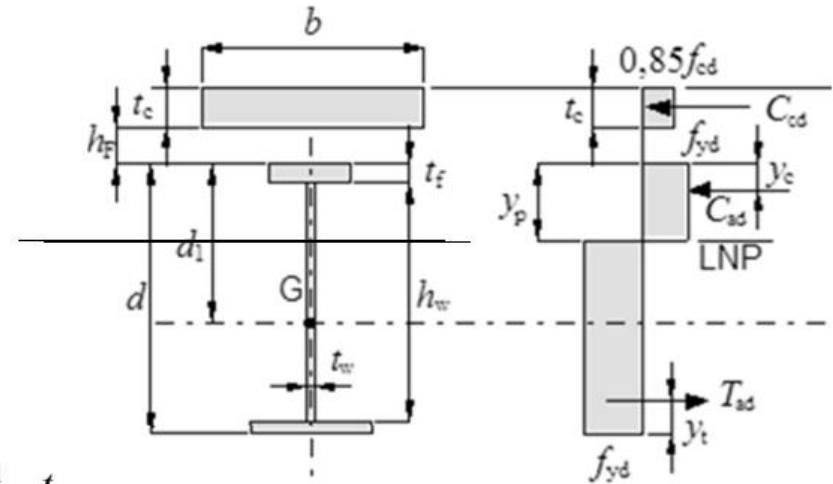
LNP no perfil

A posição da linha neutra da seção plastificada, medida a partir do topo do perfil de aço, pode ser determinada como a seguir indicado:

para $C_{ad} \leq A_{af} f_{yd}$ - **linha neutra na mesa superior** $y_p = \frac{C_{ad}}{A_{af} f_{yd}} t_f$

para $C_{ad} > A_{af} f_{yd}$ - **linha neutra na alma** $y_p = t_f + h_w \left(\frac{C_{ad} - A_{af} f_{yd}}{A_{aw} f_{yd}} \right)$

$$M_{Rd} = \beta_{vm} \left[C_{ad} (d - y_t - y_c) + C_{cd} \left(\frac{t_c}{2} + h_F + d - y_t \right) \right]$$



Viga mista com interação Parcial

Atendidas essas condições temos

$$C_{cd} = \sum Q_{Rd} \quad C_{ad} = \frac{\left(\frac{A_a \cdot F_y}{1,1} - C_{cd}\right)}{2} \quad T_{ad} = C_{cd} + C_{ad}$$

para $C_{ad} \leq A_{af} f_{yd}$ - **linha neutra na mesa superior** $y_p = \frac{C_{ad}}{A_{af} f_{yd}} t_f$

para $C_{ad} > A_{af} f_{yd}$ - **linha neutra na alma** $y_p = t_f + h_w \left(\frac{C_{ad} - A_{af} f_{yd}}{A_{aw} f_{yd}} \right)$

O Momento Fletor Resistente de Cálculo será dado por:

$$M_{Rd} = \beta_{vm} \left[C_{ad} (d - y_t - y_c) + C_{cd} \left(t_c - \frac{a}{2} + h_F + d - y_t \right) \right]$$

Adotando-se $a = \frac{C_{cd}}{0,85 f_{cd} b}$

Viga mista com interação Parcial

$$\sum Q_{Rd} \leq \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4}$$

$$\eta_i = \frac{\sum Q_{rd}}{F_{hd}} \rightarrow \text{Grau de interação}$$

F_{hd} = força de cisalhamento de cálculo na interface da viga com o concreto igual ao menor valor entre:

$$F_{hd} = \frac{A_a \cdot F_y}{1,1} \quad F_{hd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4}$$

Para perfis de aço com áreas de mesas iguais

$$\text{Para } L \leq 25m \quad \eta_i = 1 - \frac{E}{578 \cdot F_y} \cdot (0,75 - 0,03L) \geq 0,40$$

$$\text{Para } L > 25m \quad \eta_i = 1 \text{ (Interação completa ou total)}$$

Para perfis de aço com áreas de mesas diferentes, com a área da mesa inferior igual a três vezes a área da mesa superior

$$\text{Para } L \leq 20m \quad \eta_i = 1 - \frac{E}{578 \cdot F_y} \cdot (0,30 - 0,015L) \geq 0,40$$

$$\text{Para } L > 20m \quad \eta_i = 1 \text{ (Interação completa ou total)}$$

C_{cd} é a força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto;

T_{ad} é a força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço;

C_{ad} é a força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço;

A_a é a área do perfil de aço;

A_{af} é a área da mesa superior do perfil de aço;

A_{aw} é a área da alma do perfil de aço, igual ao produto $h_w t_w$;

A_{bi} é a área do banzo inferior da treliça de aço;

b é a largura efetiva da laje de concreto;

t_c é a altura da laje de concreto (se houver pré-laje de concreto pré-moldada, é a espessura acima desta pré-laje e, se houver laje com fôrma de aço incorporada, é a espessura acima das nervuras);

a é a espessura da região comprimida da laje ou, para interação parcial, a espessura considerada efetiva;

$\sum Q_{Rd}$ é o somatório das forças resistentes de cálculo individuais Q_{Rd} dos conectores de cisalhamento situados entre a seção de momento positivo máximo e a seção adjacente de momento nulo (ver O.4.3);

h_F é a espessura da pré-laje pré-moldada de concreto ou a altura das nervuras da laje com fôrma de aço incorporada (se não houver pré-laje

ou fôrma de aço incorporada, $h_F = 0$);

d é a altura total do perfil de aço;

h_w é a altura da alma, tomada como a distância entre faces internas das mesas;

t_w é a espessura da alma;

d_1 é a distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil;

d_2 é a distância entre as forças de tração e compressão na treliça mista;

y_c é a distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil;

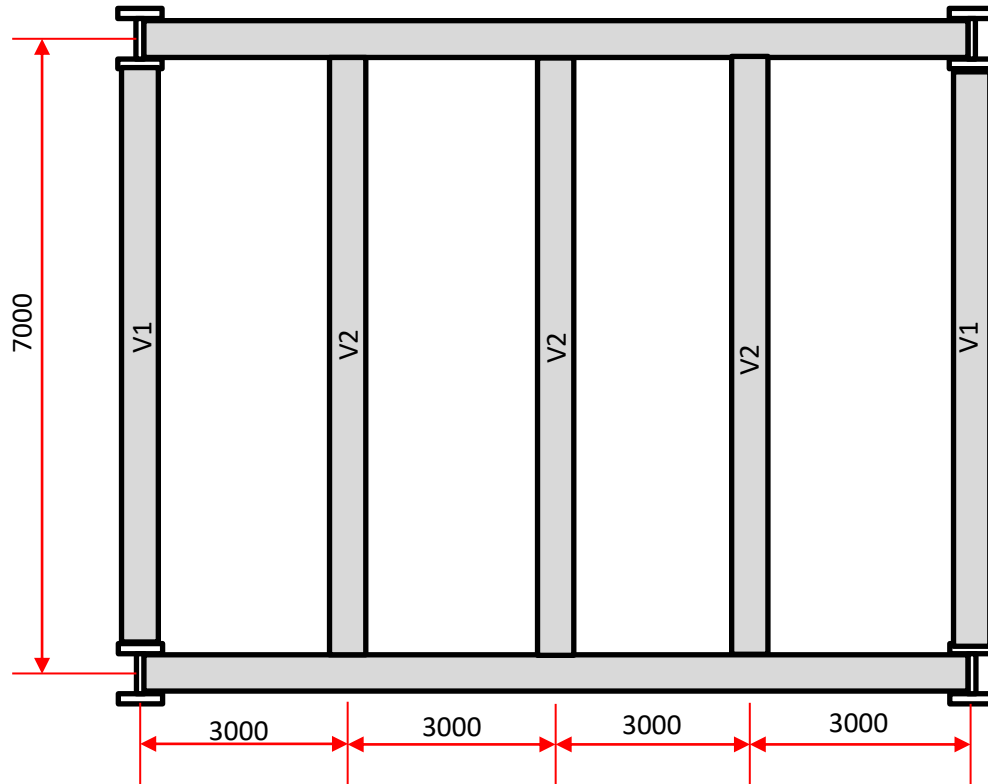
y_t é a distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil;

y_p é a distância da linha neutra da seção plastificada até a face superior do perfil de aço;

t_f é a espessura da mesa superior do perfil de aço.

Exercício 7:

Verificar a viga V2 abaixo considerando os seguintes dados, considerando a construção Escorada



$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{24} = 23319 \text{ MPa}$$

$$\eta_0 = \frac{E_a}{E_c} = \frac{200000}{23319} = 8,58 \rightarrow \text{relação Modular}$$

$$\text{Plaje} = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,10 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Contrapiso} + \text{Piso} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

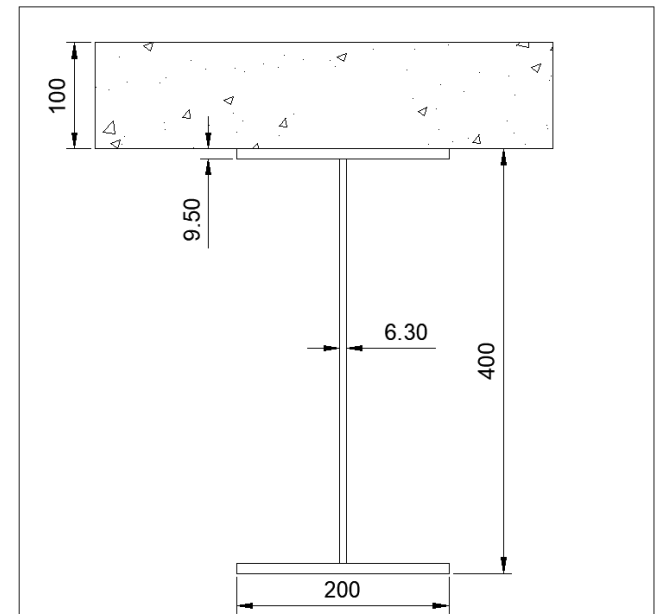
$$\text{Forro} = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Estrutura} = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sobrecarga} = 8 \text{ kN/m}^2$$

Perfil ASTM A36

Fck = 24Mpa



$$A = 62\text{cm}^2$$

$$I_x = 17393 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 870\text{cm}^3$$

$$Z_x = 1000\text{cm}^3$$

$$E = 200.000 \text{ MPa}$$

Exercício 7:

Solicitações

$$Q_{Ap} = (2,5 + 1,0 + 0,30 + 0,20) \cdot 3m = 12 \text{ kN/m}$$

$$Q_{Sc} = 8 \cdot 3m = 24 \text{ kN/m}$$

$$Q_{LA} = 1,4 \cdot 12 + 1,5 \cdot 24 = 52,8 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{0,528 \cdot 700^2}{8} = 32340 \text{ kN.cm}$$

Largura Efetiva

Menor valor entre: $b_{ef} = 2 \cdot \frac{L}{8} = 2 \cdot \frac{7}{8} = 1,75m$ $b_{ef} = 3m$

Adotaremos 1,75m

Exercício 7:

Interação completa

$$\frac{h}{tw} = \frac{40 - 2.0,95}{0,63} = 60,47 < 3,76 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106 \text{ Viga Compacta}$$

$$\frac{A_a \cdot F_y}{1,1} = \frac{62 \cdot 25}{1,1} = 1409 \text{ kN}$$

$$\frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4} = \frac{0,85 \cdot 2,4 \cdot 175 \cdot 10}{1,4} = 2550 \text{ kN}$$

$$C_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot a}{1,4} \quad T_{ad} = \frac{A_a \cdot F_y}{1,1} = \frac{62 \cdot 25}{1,1} = 1409 \text{ kN}$$

$$a = \frac{1,4 \cdot T_{ad}}{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1,4 \cdot 1409}{0,85 \cdot 2,4 \cdot 175} = 5,52 \text{ cm}$$

$$M_{rd} = \beta_{vm} \cdot T_d \cdot \left[d_1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right]$$

$$M_{rd} = 1,0 \cdot 1409 \cdot \left[20 + 0 + 10 - \frac{5,52}{2} \right] = 38381 \text{ kN.cm} > 32340 \text{ OK!}$$

Exercício 7:

Cálculo dos Conectores

Stud Bolt $d=19\text{mm}$ $h = 75\text{mm}$ $A_{cs} = 2,84\text{cm}^2$

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{24} = 23800 = 2332 \text{ kN/cm}^2$$

$$Q_{rd_1} = \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}} = \frac{2,84 \cdot \sqrt{24 \cdot 2332}}{2 \cdot 1,25} = 84,98 \text{ kN}$$

$$Q_{rd_2} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{ucs}}{\gamma_{cs}} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 2,84 \cdot 41,5}{1,25} = 94,3 \text{ kN}$$

$$n_{con} = \frac{1409}{84,98} = 16,58 \approx 17 \text{ conectores}$$



$$\text{Espaçamento} = \frac{3500}{16} = 219 \text{ mm}$$

Exercício 7:

Cálculo dos Conectores

Perfil U 75X40X4,76 Lc = 100mm

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{24} = 23800 = 2332 \text{ kN/cm}^2$$

$$Q_{Rd} = \frac{0,3 \cdot (0,476 + 0,5 \cdot 0,476) \cdot 10 \cdot \sqrt{2,4 \cdot 2332}}{1,25} = 128 \text{ kN}$$

$$n_{con} = \frac{1409}{128} = 11 \text{ conectores}$$



$$\text{Espaçamento} = \frac{3500}{10} = 350\text{mm}$$

Exercício 7:

Interação Parcial

$$\eta_i = \frac{\sum Q_{Rd}}{F_{hd}} = 0,7$$

$$F_{hd} = \min \left(\frac{A_a \cdot F_y}{1,1}; \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4} \right) = 1409 \text{ kN}$$

$$\sum Q_{Rd} = 0,7 \cdot 1409 = 986,3 \text{ kN}$$

$$N_{conec} = \frac{986,3}{84,98} = 11,6 \approx 12 \text{ conectores}$$

$$\sum Q_{Rd} = 12 \cdot 84,98 = 1020 \text{ kN} = C_{cd}$$

$$C_{ad} = \frac{\left(A_a \cdot \frac{F_y}{1,1} \right) - C_{cd}}{2} = \frac{\frac{62,25}{1,1} - 1020}{2} = 194,54 \text{ kN}$$

$$T_{ad} = C_{cd} + C_{ad} = 1020 + 194,54 = 1214,54 \text{ kN}$$

$$a = \frac{1,4 \cdot 1020}{0,85 \cdot 2,4 \cdot 175} = 4 \text{ cm}$$

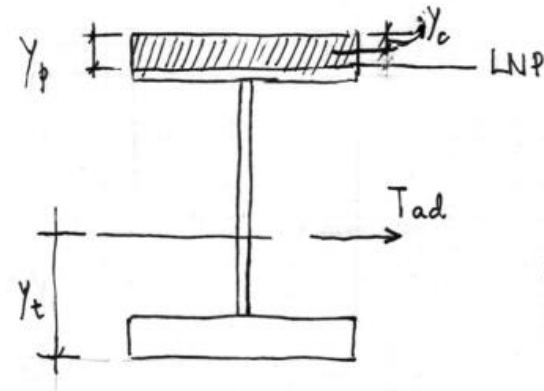
$$\text{Como } C_{ad} < A_{af} \cdot \frac{F_y}{1,1} = 20 \cdot 0,95 \cdot \frac{25}{1,1} = 431,8 \text{ kN, deduz-se que a LNP está na mesa superior}$$

Exercício 7:

Interação Parcial

$$y_p = \frac{C_{ad}}{A_{af} \cdot \left(\frac{F_y}{1,1}\right)} \cdot t_f \quad y_p = \frac{194,54}{20 \cdot 0,95 \cdot \left(\frac{25}{1,1}\right)} \cdot 0,95 = 0,43 \text{ cm} \quad y_c = \frac{0,43}{2} = 0,215 \text{ cm}$$

$$y_t = \frac{20 \cdot \frac{0,95^2}{2} + 38,1 \cdot 0,63 \cdot 20 + 20 \cdot (0,95 - 0,43) \cdot \left(0,95 + 38,1 - \frac{0,5^2}{2}\right)}{62 - [20 \cdot (0,95 - 0,43)]} = 17,4 \text{ cm}$$



$$M_{Rd} = \left[C_{ad} \cdot (d - y_t - y_c) + C_{cd} \cdot \left(t_c - \frac{a}{2} + h_f + d - y_t \right) \right]$$

$$M_{Rd} = \left[194,54 \cdot (40 - 17,4 - 0,215) + 1020 \cdot \left(10 - \frac{4}{2} + 0 + 40 - 17,4 \right) \right] = 35.556 \text{ kN.cm} > 32340 \text{ kN.cm OK!}$$

Exercício 7:

Determinação da flecha com interação total

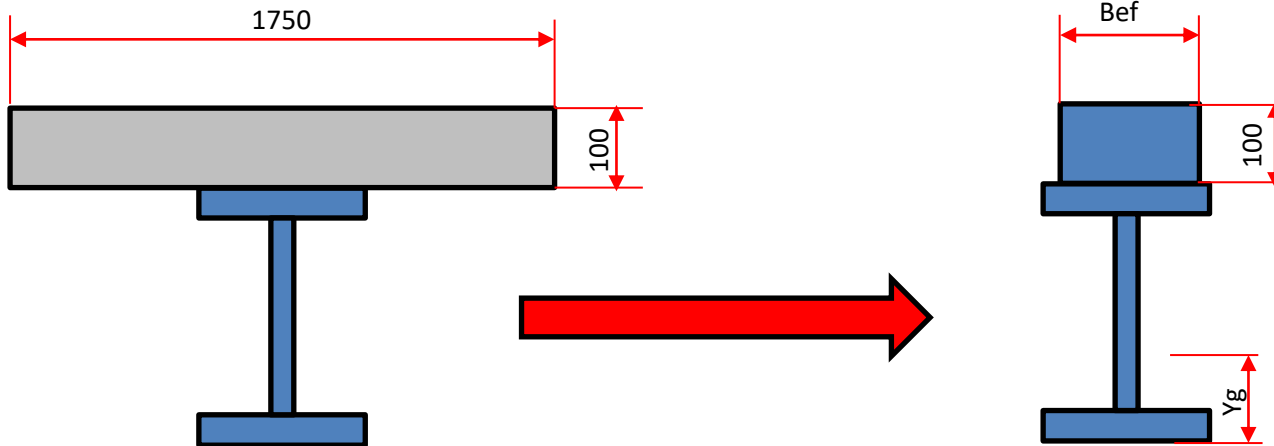
Relação Modular

$$\eta_0 = \frac{E_a}{E_c} = \frac{200000}{23319} = 8,58 \rightarrow \text{Cargas de curta duração}$$

$$B_{ef} = \frac{b}{8,58} = \frac{175}{8,58} = 20,39\text{cm}$$

$$\eta = k \cdot \eta_0 = 3 \cdot 8,58 = 25,74 \rightarrow \text{Cargas de longa duração}$$

$$B_{ef} = \frac{b}{25,74} = \frac{175}{25,74} = 6,80\text{cm}$$



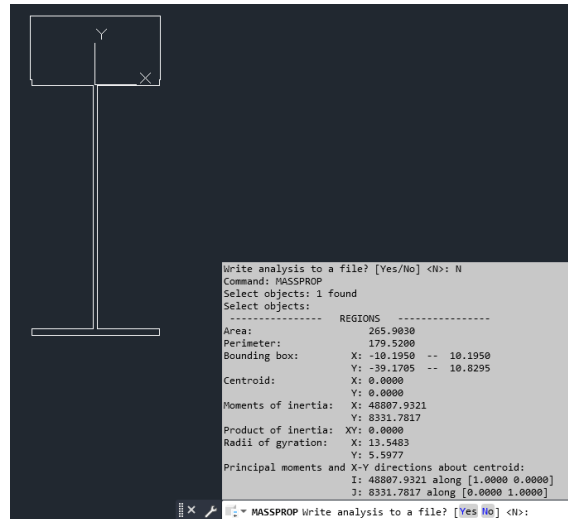
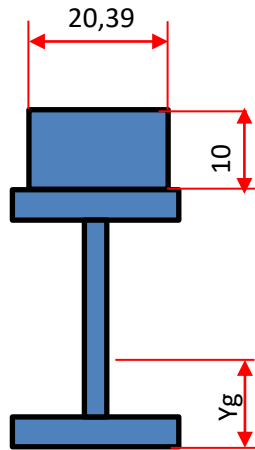
Exercício 7:

Determinação da flecha com interação total

Relação Modular

$$\eta_0 = \frac{E_a}{E_c} = \frac{200000}{23319} = 8,58 \rightarrow \text{Cargas de curta duração} \quad B_{ef} = \frac{b}{8,58} = \frac{175}{8,58} = 20,39 \text{ cm}$$

$$Q = 8 \text{ kN/m} \times 3 \text{ m} = 24 \text{ kN/m}$$



$$y_g = \frac{62 \cdot 20 + 20,39 \cdot 10 \cdot 45}{62 + 20,39 \cdot 10} = 39,17 \text{ cm}$$

$$I_x = 17393 + 62 \cdot (39,17 - 20)^2 + \frac{20,39 \cdot 10^3}{12} + 20,39 \cdot 10 \cdot (45 - 39,17)^2 = 48.807 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad f = \frac{5 \cdot 0,24 \cdot 700^4}{384 \cdot 20000 \cdot 48807} = 7,68 \text{ mm} < \frac{700}{350} = 2 \text{ cm OK!}$$

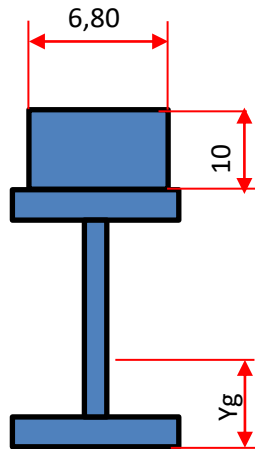
Exercício 7:

Determinação da flecha com interação total

Relação Modular

$$\eta = k \cdot \eta_0 = 3 \cdot 8,58 = 25,74 \rightarrow \text{Cargas de longa duração} \quad B_{ef} = \frac{b}{25,74} = \frac{175}{25,74} = 6,80 \text{ cm}$$

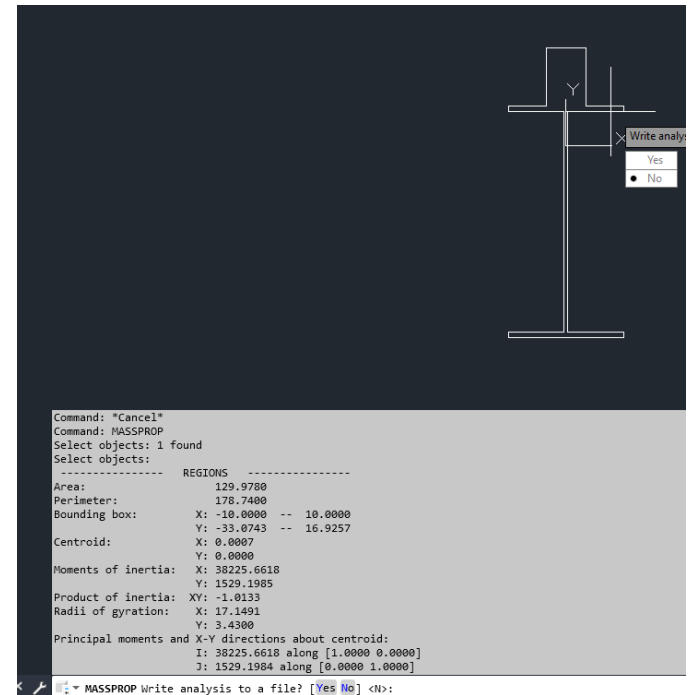
$$Q_{Ap} = (2,5 + 1,0 + 0,30 + 0,20) \cdot 3 \text{ m} = 12 \text{ kN/m}$$



$$y_g = \frac{62 \cdot 20 + 6,80 \cdot 10 \cdot 45}{62 + 6,80 \cdot 10} = 33 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = 17393 + 62 \cdot (33 - 20)^2 + \frac{6,80 \cdot 10^3}{12} + 6,80 \cdot 10 \cdot (45 - 33)^2 = 38229 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad f = \frac{5,0 \cdot 12 \cdot 700^4}{384 \cdot 20000 \cdot 38229} = 4,90 \text{ mm} < \frac{700}{350} = 2 \text{ cm OK!}$$



Exercício 7:

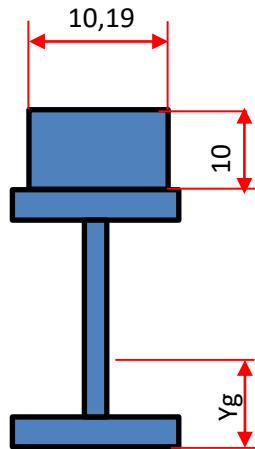
Determinação da flecha com interação total (Método Alternativo)

Relação Modular

$$\eta = k \cdot \eta_0 = 2 \cdot 8,58 = 17,16 \rightarrow \text{Combinações Raras}$$

$$B_{ef} = \frac{b}{17,16} = \frac{175}{17,16} = 10,19\text{cm}$$

$$Q = 12 + 24 = 36 \text{ kN/m}$$



$$y_g = \frac{62 \cdot 20 + 10,19 \cdot 10 \cdot 45}{62 + 10,19 \cdot 10} = 35,54\text{cm}$$

$$I_{tr} = 17393 + 62 \cdot (35,54 - 20)^2 + \frac{10,19 \cdot 10^3}{12} + 10,19 \cdot 10 \cdot (45 - 35,54)^2 = 42334\text{cm}^4$$

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad f = \frac{5 \cdot 0,36 \cdot 700^4}{384 \cdot 20000 \cdot 42334} = 13,33\text{mm} < \frac{700}{350} = 2\text{cm OK!}$$



Exercício 7:

Determinação da flecha com interação Parcial

Relação Modular

$$\eta_0 = \frac{E_a}{E_c} = \frac{200000}{23319} = 8,58 \rightarrow \text{Cargas de curta duração} \quad B_{ef} = \frac{b}{8,58} = \frac{175}{8,58} = 20,39cm$$

$$Q = 8 \text{ kN/m} \times 3\text{m} = 24 \text{ kN/m}$$

$$y_g = \frac{62 \cdot 20 + 20,39 \cdot 10 \cdot 45}{62 + 20,39 \cdot 10} = 39,17cm$$

$$I_{tr} = 17393 + 62 \cdot (39,17 - 20)^2 + \frac{20,39 \cdot 10^3}{12} + 20,39 \cdot 10 \cdot (45 - 39,17)^2 = 48.807cm^4$$

$$I_{ef} = I_a + (I_{tr} - I_a) \cdot \sqrt{\eta_i}$$

$$I_{ef} = 17393 + (48807 - 17393) \cdot \sqrt{0,7} = 43675cm^4$$

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad f = \frac{5 \cdot 0,24 \cdot 700^4}{384 \cdot 20000 \cdot 43675} = 8,59mm < \frac{700}{350} = 2cm \text{ OK!}$$

Exercício 7:

Determinação da flecha com interação Parcial

Relação Modular

$$\eta = k \cdot \eta_0 = 3 \cdot 8,58 = 25,74 \rightarrow \text{Cargas de longa duração} \quad B_{ef} = \frac{b}{25,74} = \frac{175}{25,74} = 6,80 \text{ cm}$$

$$Q_{Ap} = (2,5 + 1,0 + 0,30 + 0,20) \cdot 3 \text{ m} = 12 \text{ kN/m}$$

$$y_g = \frac{62 \cdot 20 + 6,80 \cdot 10 \cdot 45}{62 + 6,80 \cdot 10} = 33 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = 17393 + 62 \cdot (33 - 20)^2 + \frac{6,80 \cdot 10^3}{12} + 6,80 \cdot 10 \cdot (45 - 33)^2 = 38229 \text{ cm}^4$$

$$I_{ef} = I_a + (I_{tr} - I_a) \cdot \sqrt{\eta_i}$$

$$I_{ef} = 17393 + (38229 - 17393) \cdot \sqrt{0,7} = 34825 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad f = \frac{5 \cdot 0,12 \cdot 700^4}{384 \cdot 20000 \cdot 34825} = 5,38 \text{ mm} < \frac{700}{350} = 2 \text{ cm OK!}$$

Exercício 7:

Determinação da flecha com interação Parcial (Método Alternativo)

Relação Modular

$$\eta = k \cdot \eta_0 = 2 \cdot 8,58 = 17,16 \rightarrow \text{Combinações Raras}$$

$$B_{ef} = \frac{b}{17,16} = \frac{175}{17,16} = 10,19 \text{ cm}$$

$$Q = 12 + 24 = 36 \text{ kN/m}$$

$$y_g = \frac{62 \cdot 20 + 10,19 \cdot 10 \cdot 45}{62 + 10,19 \cdot 10} = 35,54 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = 17393 + 62 \cdot (35,54 - 20)^2 + \frac{10,19 \cdot 10^3}{12} + 10,19 \cdot 10 \cdot (45 - 35,54)^2 = 42334 \text{ cm}^4$$

$$I_{ef} = I_a + (I_{tr} - I_a) \cdot \sqrt{\eta_i}$$

$$I_{ef} = 17393 + (42334 - 17393) \cdot \sqrt{0,7} = 38260 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad f = \frac{5 \cdot 0,36 \cdot 700^4}{384 \cdot 20000 \cdot 38260} = 14,70 \text{ mm} < \frac{700}{350} = 2 \text{ cm OK!}$$

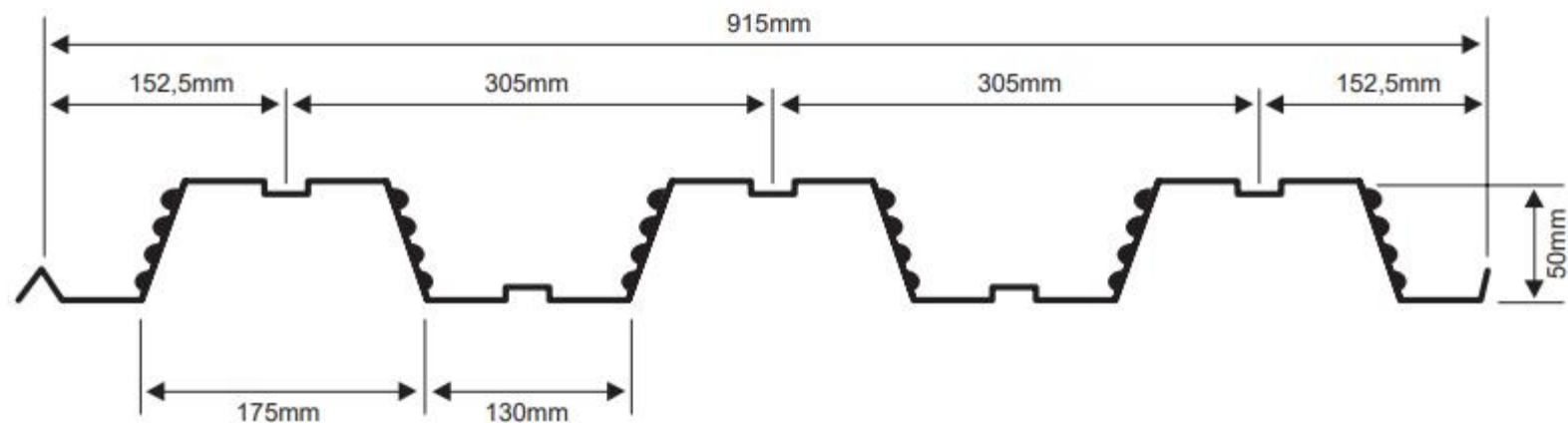
Tabela de cargas e vão máximos - MF-50

	Altura total da laje (mm)	Espessura Seel Deck (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento					Peso Próprio (kN/m²)	M. Inércia Laje Mista (10⁴mm⁴/m)	Vãos Máximos sem Escoramento										Vãos Máximos sem Escoramento				
			Simples (mm)	Duplos (mm)	Tripos (mm)	Balanço (mm)	1.800			1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400 Carga sobreposta	2.500 Carga sobreposta	2.600 máxima (kN/m²)	2.650 máxima (kN/m²)	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100	3.200
Lajes de Forro	100	0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	9,31	8,14	7,14	6,28	5,54	4,89	4,32	3,82	3,38	3,18	2,99	2,63	2,32	2,03	1,78	1,54
		0,95	2.550	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,68	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44	2,16
		1,25	3.200	3.800	3.800	1.450	1,89	6,26	16,43	14,45	12,76	11,31	10,06	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,19	3,77	3,38
Lajes de Piso	110	0,80	1.800	2.700	2.800	900	2,08	6,89	10,56	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,84	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02	1,76
		0,95	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	13,25	11,62	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78	2,46
		1,25	3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29	3,85
	120	0,80	1.650	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,98	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27	1,98
		0,95	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12	2,76
		1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,33	16,20	14,36	12,77	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32
	130	0,80	1.490	2.500	2.600	850	2,55	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52	2,19
		0,95	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46	3,06
		1,25	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,06	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33	4,79
	140	0,80	1.350	2.450	2.500	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77	2,41
		0,95	1.850	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,87	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,06	5,40	4,81	4,27	3,79	3,36
		1,25	2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	19,63	17,41	15,49	13,82	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,23	6,50	5,85	5,26
	150	0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,28	8,20	7,26	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02	2,63
		0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,54	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,66	4,13	3,66
		1,25	2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37	5,72
160	0,80	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26	2,84	
	0,95	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,69	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47	3,96	
	1,25	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,53	13,03	11,69	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89	6,19	
170	0,80	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51	3,06	
	0,95	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,89	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81	4,26	
	1,25	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	

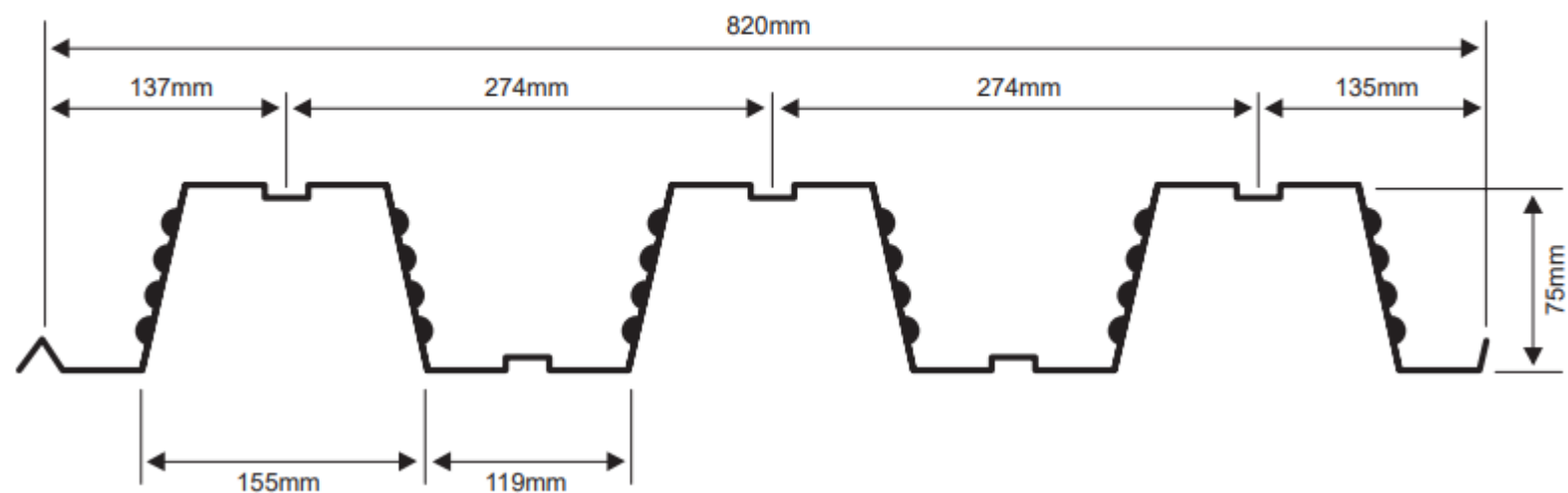
Tabela de cargas e vão máximos - MF-75

	Altura total da laje (mm)	Espessura Seel Deck (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁴ mm ⁴ /m)	Vãos Máximos sem Escoramento												Vãos Máximos sem Escoramento							
			Simples (mm)	Duplos (mm)	Tripos (mm)	Balanço (mm)			2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600 Carga sobreposta	2.700 Carga sobreposta	2.800 máxima (kN/m²)	2.900 máxima (kN/m²)	3.000	3.150	3.300	3.500	3.750	4.000				
Lajes de Forro	130	0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,66	11,87	10,56	9,42	8,43	7,56	6,79	6,11	5,51	4,96	4,47	4,03	3,45	2,94	2,37	1,77	1,29				
		0,95	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	14,19	12,69	11,38	10,25	9,25	8,36	7,58	6,88	6,25	5,69	5,18	4,51	3,92	3,26	2,56	2,00				
		1,25	3.650	4.300	4.400	1.650	2,32	12,74	18,83	16,94	15,31	13,88	12,62	11,50	10,51	9,63	8,84	8,13	7,48	6,63	5,88	5,03	4,15	3,42				
140	0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,48	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44					
	0,95	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	12,63	11,37	10,26	9,28	8,41	7,64	6,94	6,32	5,76	5,01	4,36	3,62	2,85	2,23					
	1,25	3.500	4.150	4.250	1.600	2,55	15,68	20,00	18,79	16,98	15,39	14,00	12,76	11,67	10,69	9,81	9,02	8,31	7,36	6,53	5,59	4,61	3,81					
150	0,80	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	14,46	12,86	11,48	10,28	9,22	8,28	7,45	6,72	6,06	5,46	4,93	4,22	3,60	2,90	2,18	1,59					
	0,95	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	13,87	12,49	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,98	3,14	2,45					
	1,25	3.400	4.000	4.100	1.550	2,79	19,05	20,00	20,00	18,65	16,91	15,38	14,02	12,82	11,75	10,78	9,91	9,13	8,09	7,18	6,15	5,07	4,19					
160	0,80	1.850	2.900	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	12,51	11,20	10,04	9,03	8,12	7,32	6,60	5,95	5,37	4,60	3,93	3,17	2,38	1,73					
	0,95	2.500	3.300	3.400	1.250	2,99	20,51	18,83	16,84	15,11	13,61	12,28	11,11	10,07	9,15	8,32	7,57	6,90	6,01	5,23	4,35	3,43	2,68					
	1,25	3.250	3.900	4.000	1.500	3,02	22,90	20,00	20,00	20,00	18,42	16,76	15,28	13,97	12,80	11,75	10,81	9,95	8,82	7,83	6,71	5,54	4,58					
170	0,80	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	13,54	12,12	10,87	9,77	8,80	7,93	7,15	6,45	5,82	4,98	4,26	3,43	2,58	1,88					
	0,95	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	16,36	14,72	13,29	12,03	10,91	9,90	9,01	8,20	7,47	6,51	5,67	4,71	3,72	2,91					
	1,25	3.150	3.800	3.900	1.450	3,26	27,24	20,00	20,00	20,00	19,94	18,14	16,54	15,12	13,86	12,72	11,70	10,78	9,55	8,49	7,27	6,00	4,96					
180	0,80	1.550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	18,34	16,32	14,57	13,04	11,70	10,52	9,47	8,53	7,69	6,94	6,26	5,37	4,59	3,70	2,78	2,03					
	0,95	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,84	20,00	19,61	17,60	15,84	14,30	12,94	11,74	10,66	9,69	8,83	8,04	7,00	6,10	5,07	4,01	3,14					
	1,25	3.050	3.700	3.800	1.450	3,50	32,10	20,00	20,00	20,00	20,00	19,51	17,80	16,28	14,92	13,70	12,60	11,60	10,28	9,14	7,83	6,47	5,35					
190	0,80	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,92	19,63	17,47	15,60	13,96	12,53	11,26	10,14	9,14	8,24	7,44	6,71	5,75	4,91	3,96	2,98	2,18					
	0,95	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	18,84	16,96	15,32	13,86	12,57	11,41	10,38	9,45	8,62	7,50	6,54	5,44	4,30	3,36					
	1,25	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39	6,93	5,73					
200	0,80	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	18,62	16,63	14,88	13,35	12,00	10,81	9,74	8,79	7,93	7,16	6,13	5,24	4,23	3,19	2,33					
	0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	20,00	20,00	20,00	18,08	16,33	14,78	13,40	12,17	11,07	10,08	9,19	8,00	6,97	5,80	4,59	3,59					
	1,25	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	18,58	17,03	15,64	14,38	13,25	11,75	10,44	8,94	7,39	6,12					

Dimensões

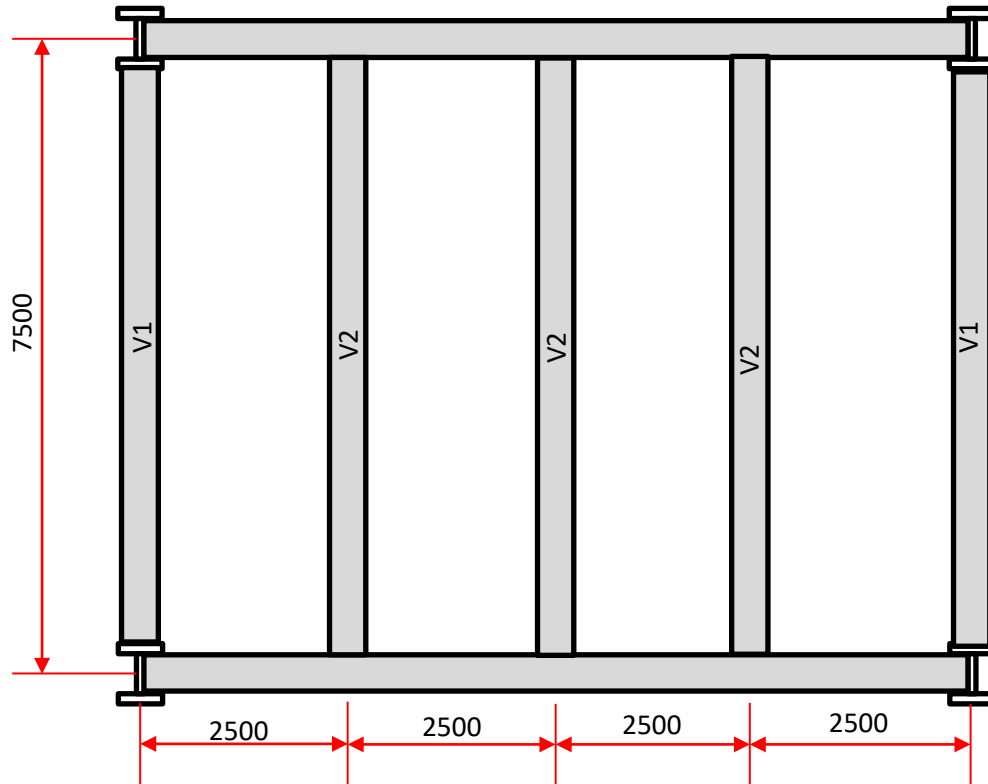


Dimensões



Exercício 8:

Verificar a viga V2 abaixo considerando os seguintes dados, considerando a construção Não - Escorada



$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{20} = 21287 \text{ MPa}$$

$$\eta_0 = \frac{E_a}{E_c} = \frac{200000}{21287} = 9,39 \rightarrow \text{relação Modular}$$

$$\text{Plaje} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Contrapiso} + \text{Piso} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

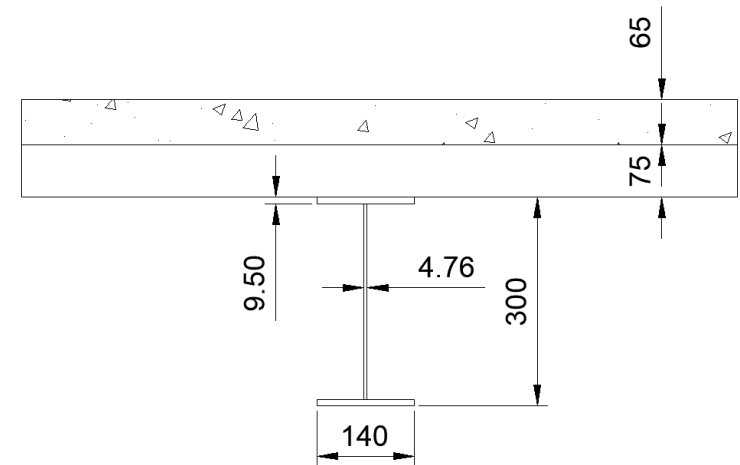
$$\text{Forro} = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Estrutura} = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sobrecarga} = 6 \text{ kN/m}^2$$

Perfil A572GR50

$$F_{ck} = 20 \text{ MPa}$$



$$A = 39,95 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 6492 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 433 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = 480 \text{ cm}^3$$

$$E = 200.000 \text{ MPa}$$

Exercício 8:

Verificação da Viga Isolada

$$FLM \rightarrow \frac{b}{t} = \frac{140}{2,9,5} = 7,37 \quad \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 9,15 - Compacto$$

$$FLA \rightarrow \frac{h}{tw} = \frac{28,1}{4,76} = 59,16 \quad \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 90,53 - Compacto$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{1,1} = \frac{Z_x \cdot F_y}{1,1} = \frac{480 \cdot 34,5}{1,1} = 15054 \text{ kN.cm}$$

$$q_{Lac_{ELS}} = (2,5 + 1 + 0,30 + 0,20) \cdot 2,5 + 1,00 \times 2,5 = 12,5 \text{ kN/m}$$

$$q_{Lac_{ELU}} = (1,35 \cdot 2,5 + 1,4 \cdot 1 + 1,4 \cdot 0,30 + 1,25 \cdot 0,20) \cdot 2,5 + 1,5 \cdot 1,00 \times 2,5 = 17,36 \text{ kN/m}$$

$$M_{Sd} = \frac{0,1736 \cdot 750^2}{8} = 12206 \text{ kN.cm} < 15054 \text{ kN.cm OK!}$$

Exercício 8:

Verificação da Viga Mista

Solicitações

$$q_{Lac_{ELS}} = (2,5 + 1 + 0,30 + 0,20) \cdot 2,5 + 6,00 \times 2,5 = 25 \text{ kN/m}$$

$$q_{Lac_{ELU}} = (1,35 \cdot 2,5 + 1,4 \cdot 1 + 1,4 \cdot 0,30 + 1,25 \cdot 0,20) \cdot 2,5 + 1,5 \cdot 6,00 \times 2,5 = 36,11 \text{ kN/m}$$

$$M_{Sd} = \frac{0,3611 \cdot 750^2}{8} = 25389 \text{ kN.cm}$$

Largura Efetiva

Menor valor entre:

$$b_{ef} = 2 \cdot \frac{L}{8} = 2 \cdot \frac{7,5}{8} = 1,875m \quad b_{ef} = 2,5m$$

Adotaremos 1,875m

Exercício 8:

Interação Parcial = 0,6

$$\frac{A_a \cdot F_y}{1,1} = \frac{39,95 \cdot 34,5}{1,1} = 1253 \text{ kN}$$

$$\frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4} = \frac{0,85 \cdot 2,0 \cdot 187,5 \cdot 6,5}{1,4} = 1480 \text{ kN}$$

$$F_{hd} = \min(1480, 1253) = 1253 \text{ kN}$$

$$\sum Q_{Rd} = 0,6 \cdot 1253 = 751,8 \text{ kN}$$

Stud Bolt d=19mm h = 75mm Acs = 2,84cm²

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{20} = 21287 = 2128,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$Q_{rd1} = \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}} = \frac{2,84 \cdot \sqrt{2,0 \cdot 2128,7}}{2 \cdot 1,25} = 74,12 \text{ kN}$$

$$Q_{rd2} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{ucs}}{\gamma_{cs}} = \frac{1 \cdot 0,75 \cdot 2,84 \cdot 41,5}{1,25} = \mathbf{70,71 \text{ kN}}$$

$$n_{con} = \frac{751,8}{70,71} = 10,63 \approx 11 \text{ conectores}$$

Exercício 8:

$$C_{cd} = 11 \cdot 70,71 = 777,8 \text{ kN}$$

$$\text{Número de nervuras} = \frac{375}{27,4} = 13,68 > 11 \text{ OK}$$

Posição da LNP

$$a = \frac{1,4 \cdot 777,8}{0,85 \cdot 2,0 \cdot 187,5} = 3,42 \text{ cm}$$

$$C_{ad} = \frac{\left(A_a \cdot \frac{F_y}{1,1}\right) - C_{cd}}{2} = \frac{\frac{39,95 \cdot 34,5}{1,1} - 777,8}{2} = 237,6 \text{ kN}$$

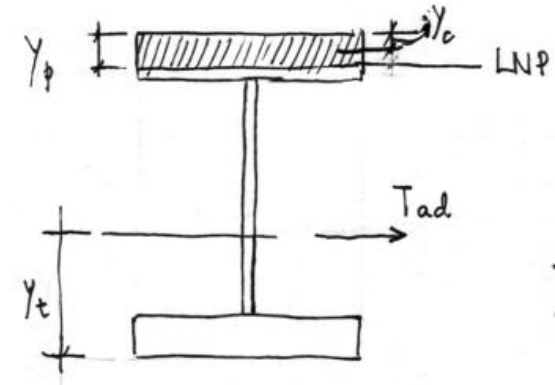
$$T_{ad} = C_{cd} + C_{ad} = 777,8 + 237,6 = 1015,4 \text{ kN}$$

$$\text{Como } C_{ad} < A_{af} \cdot \frac{F_y}{1,1} = 14 \cdot 0,95 \cdot \frac{34,5}{1,1} = 417,13 \text{ kN, deduz-se que a LNP está na mesa superior}$$

Exercício 8:

$$y_p = \frac{C_{ad}}{A_{af} \cdot \left(\frac{F_y}{1,1}\right)} \cdot t_f \quad y_p = \frac{237,6}{14 \cdot 0,95 \cdot \left(\frac{34,5}{1,1}\right)} \cdot 0,95 = 0,54 \text{ cm} \quad y_c = \frac{0,54}{2} = 0,27 \text{ cm}$$

$$y_t = \frac{14 \cdot \frac{0,95^2}{2} + 28,1 \cdot 0,476 \cdot 15 + 14 \cdot (0,41) \cdot \left(\frac{0,41}{2} + 29,05\right)}{14 \cdot 0,95 + 28,1 \cdot 0,476 + 0,476 \cdot 14} = 11,244 \text{ cm}$$



$$M_{Rd} = \left[C_{ad} \cdot (d - y_t - y_c) + C_{cd} \cdot \left(t_c - \frac{a}{2} + h_f + d - y_t \right) \right]$$

$$M_{Rd} = \left[237,6 \cdot (30 - 11,244 - 0,27) + 777,8 \cdot \left(6,5 - \frac{3,42}{2} + 7,5 + 30 - 11,244 \right) \right] = 28539 \text{ kN.cm} > 25389 \text{ kN.cm OK!}$$

Exercício 8:

Determinação da flecha com interação Parcial (Método Alternativo)

Antes da Cura (só o perfil Resiste)

$$q_{Lac_{ELS}} = (2,5 + 1 + 0,30 + 0,20) \cdot 2,5 = 10 \text{ kN/m}$$

$$f = \frac{5,0 \cdot 10 \cdot 750^4}{384 \cdot 20000 \cdot 6492} = 31,73 \text{ mm} - \text{Aplicar contraflecha de 32 mm}$$

Após a cura (Viga mista resiste)

$$\eta = k \cdot \eta_0 = 2 \cdot 9,39 = 18,78 \rightarrow \text{Combinações Raras}$$

$$B_{ef} = \frac{b}{18,78} = \frac{187,5}{18,78} = 9,98 \text{ cm}$$

$$Q = 12 + 24 = 36 \text{ kN/m}$$

$$y_g = \frac{39,95 \cdot 15 + 9,98 \cdot 6,5 \cdot 40,75}{39,95 + 9,98 \cdot 6,5} = 30,93 \text{ cm}$$

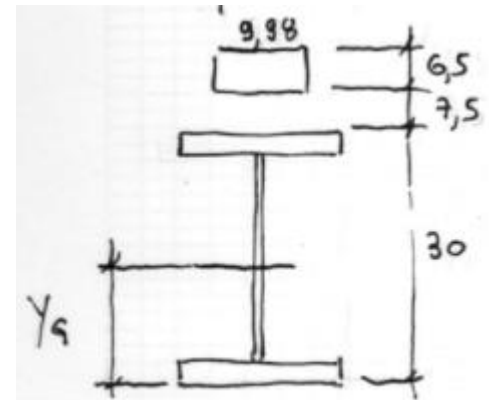
$$I_{tr} = 6492 + 39,95 \cdot (30,93 - 15)^2 + \frac{9,98 \cdot 6,5^3}{12} + 9,98 \cdot 6,5 \cdot (40,75 - 30,93)^2 = 23113 \text{ cm}^4$$

$$I_{ef} = I_a + (I_{tr} - I_a) \cdot \sqrt{\eta_i}$$

$$I_{ef} = 6492 + (23113 - 6492) \cdot \sqrt{0,6} = 19366 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad f = \frac{5,0 \cdot 36 \cdot 750^4}{384 \cdot 20000 \cdot 19366} = 3,84 \text{ cm}$$

$$f_{total} = 38,4 - 32 = 6,4 \text{ mm} < \frac{750}{350} = 21,42 \text{ mm OK!}$$



Vigas Mistas Semi compactas

$$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\sum Q_{Rd} \geq \min \left(\frac{A_a \cdot F_y}{1,1}; \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4} \right)$$

interação Completa:

$$\sigma_t = \frac{M_{sd}}{(W_{tr})_i} \quad \sigma_c = \frac{M_{sd}}{\alpha_E (W_{tr})_s}$$

interação Parcial:

$$\sigma_t = \frac{M_{sd}}{(W_{tr})_i}$$

$$W_{ef} = W_a + [(W_{tr})_i - W_a] \cdot \sqrt{\eta_i}$$

onde:

σ_{td} é a tensão de tração de cálculo na mesa inferior do perfil de aço;

σ_{cd} é a tensão de compressão de cálculo na face superior da laje de concreto;

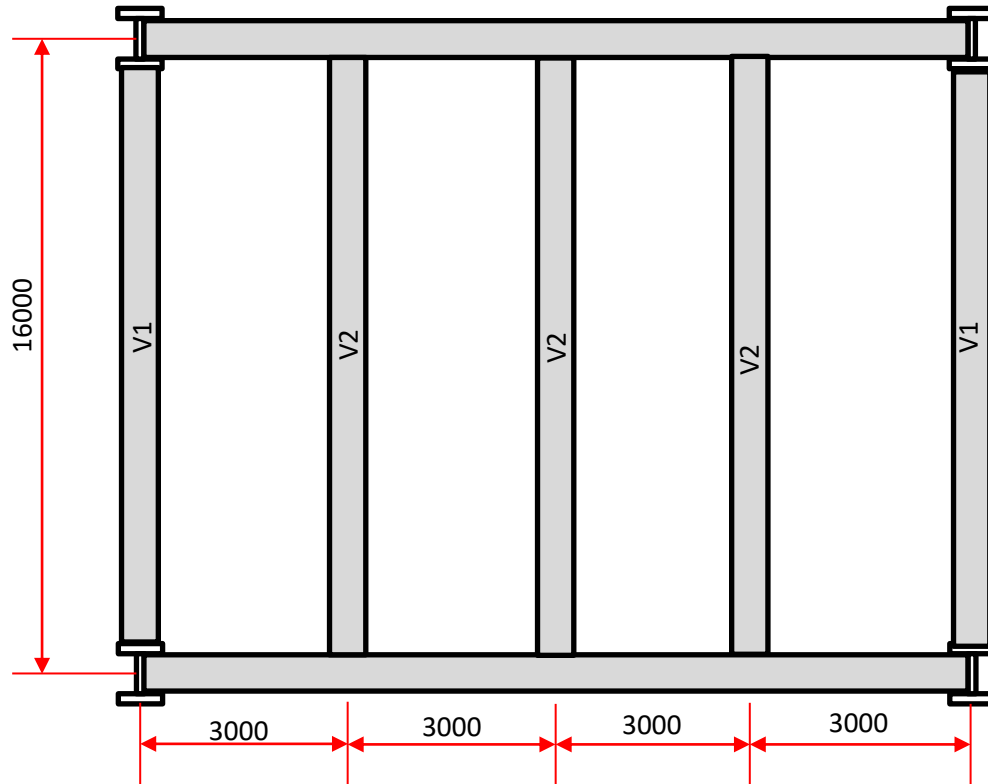
$(W_{tr})_i$ é o módulo de resistência elástico inferior da seção mista;

$(W_{tr})_s$ é o módulo de resistência elástico superior da seção mista;

W_a é o módulo de resistência elástico inferior do perfil de aço.

Exercício 9:

Verificar a viga V2 abaixo considerando os seguintes dados, considerando a construção Não - Escorada



Plaje = $3,00 \text{ kN/m}^2$

Contrapiso + Piso = $1,0 \text{ kN/m}^2$

Forro = $0,30 \text{ kN/m}^2$

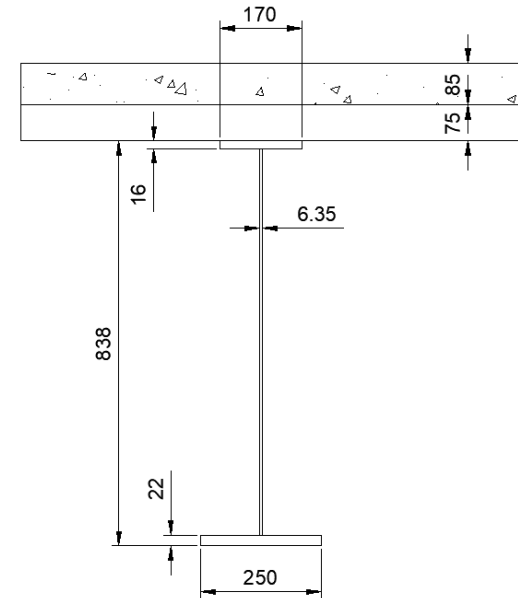
Estrutura = $0,20 \text{ kN/m}^2$

Sobrecarga = 4 kN/m^2

Formas MF-75

Aço COS-CIVIL-300 ($F_y = 300 \text{ MPa}$, $F_u = 400 \text{ MPa}$)

$F_{ck} = 25 \text{ MPa}$



$A = 133 \text{ cm}^2$ $m = 104,4 \text{ kg/m}$

$I_x = 155349 \text{ cm}^4$

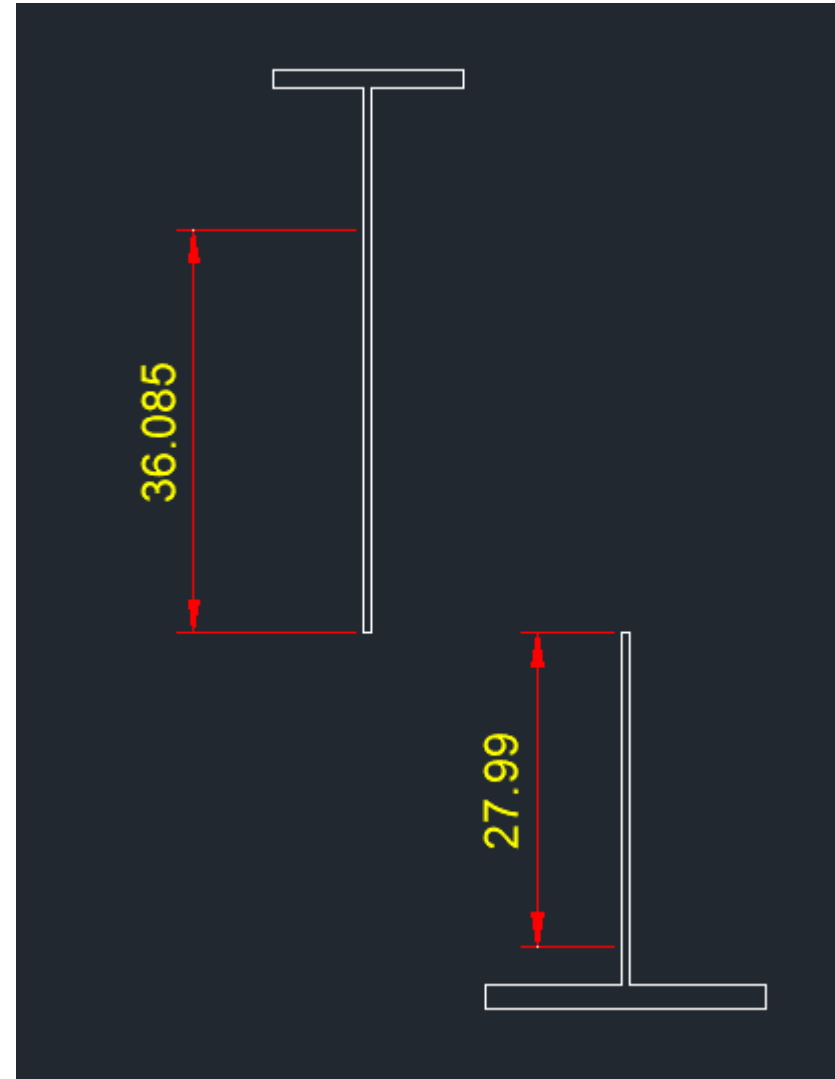
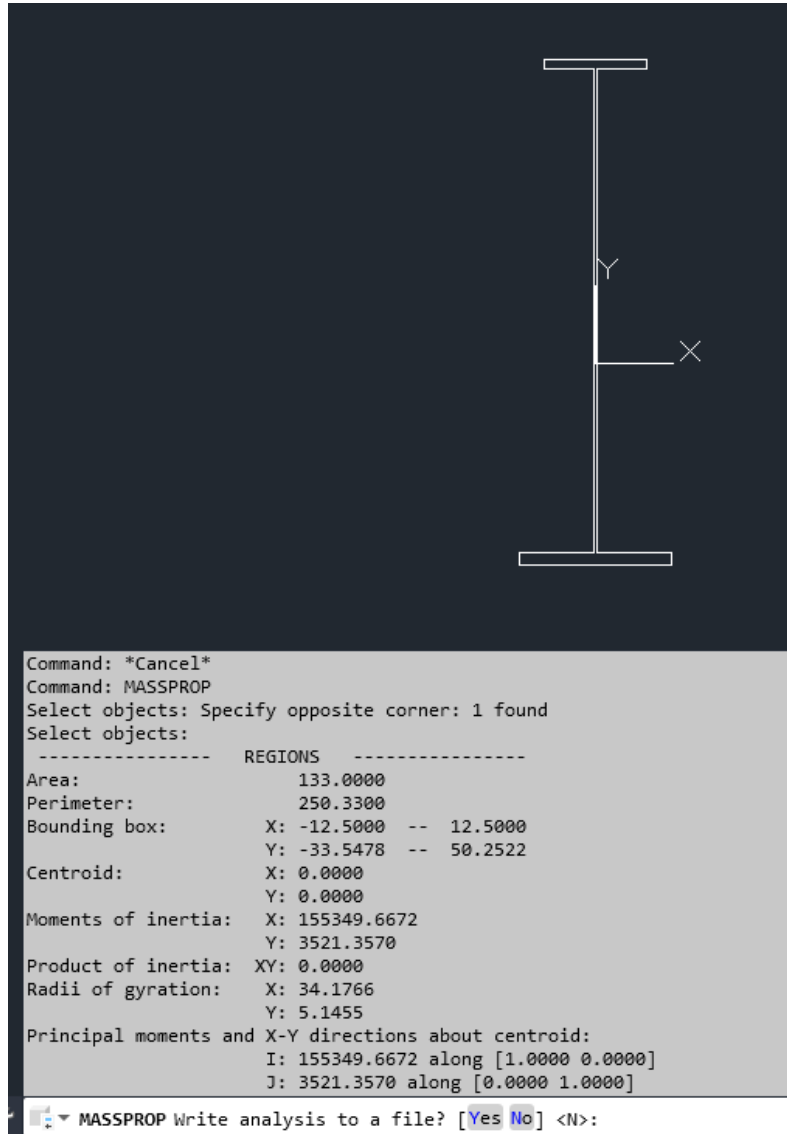
$Y_g = 33,54 \text{ cm}$

$W_{xt} = 155349 / 33,54 = 4630,6 \text{ cm}^3$

$W_{xc} = 155349 / (83,8 - 33,54) = 3109,46 \text{ cm}^3$

$E = 200.000 \text{ MPa}$

Exercício 9:



$$Z_x = \frac{1}{2} \cdot A \cdot d \rightarrow \frac{1}{2} \cdot 133 \cdot (36 + 28) = 4256 \text{ cm}^3$$

Exercício 9:

$$q_{Lac_{ELS}} = (3,00 + 1 + 0,30 + 0,20) \cdot 3,00 + 1,00 \times 3,00 = 16,5 \text{ kN/m}$$

$$q_{Lac_{ELU}} = (1,35 \cdot 3,0 + 1,4 \cdot 1 + 1,4 \cdot 0,30 + 1,25 \cdot 0,20) \cdot 3,0 + 1,5 \cdot 1,00 \times 3,0 = 22,86 \text{ kN/m}$$

$$M_{Sd} = \frac{0,2286 \cdot 1600^2}{8} = 73152 \text{ kN.cm}$$

$$FLM_s \rightarrow \frac{b}{t} = \frac{17}{2,1,6} = 5,31$$

$$FLM_i \rightarrow \frac{b}{t} = \frac{25}{2,2,2} = 5,68$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{30}} = 9,81 \text{ — Compacto}$$

$$FLA \rightarrow \frac{h}{t_w} = \frac{83,8 - 1,6 - 2,2}{0,635} = 126$$

$$h_c = h_p = 2 \cdot (83,8 - 1,6 - 33,54) = 97,3$$

$$M_{pl} = Z_x \cdot F_y = 4256 \cdot 30 = 127680 \text{ kN.cm}$$

$$M_r = F_y \cdot W = 30 \cdot 3109,46 = 93283,8$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{h}{h_p} \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0,54 \cdot \frac{M_{pl}}{M_r} - 0,09\right)} \rightarrow \frac{\frac{97,3}{97,3} \cdot \sqrt{\frac{20000}{30}}}{\left(0,54 \cdot \frac{127680}{93283} - 0,09\right)} \rightarrow 39,77 \quad \lambda_r = 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow 5,70 \cdot \sqrt{\frac{20000}{30}} \rightarrow 147,17 \quad \text{Semi-Compacto ao FLA}$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}}{1,1} = \frac{127680 - (127680 - 93283) \cdot \frac{126 - 39,77}{147,47 - 39,77}}{1,1} = 100.140 \text{ kN.cm} > 73152 \text{ kN.cm OK}$$

Tabela G.1 — Parâmetros referentes ao momento fletor resistente

Tipo de seção e eixo de flexão	Estados-límites aplicáveis	M_r	M_{cr}	λ	λ_p	λ_r
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U não sujeitas a momento de torção, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$(f_y - \sigma_r) W$ Ver Nota 5	Ver Nota 1	$\frac{L_b}{r_y}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 1
	FLM	$(f_y - \sigma_r) W$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	$\frac{b}{t}$ Ver Nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções I e H com apenas um eixo de simetria situado no plano médio da alma, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia (ver Nota 9)	FLT	$(f_y - \sigma_r) W_c$ $\leq f_y W_t$ Ver Nota 5	Ver Nota 2	$\frac{L_b}{r_{yc}}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 2
	FLM	$(f_y - \sigma_r) W_c$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	$\frac{b}{t}$ Ver Nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h_c}{t_w}$	$\frac{\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{f_y}}}{\left(0,54 \frac{M_{pl}}{M_r} - 0,09\right)^2} \leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Exercício 9:

$$q_{Lac_{ELS}} = (3,00 + 1 + 0,30 + 0,20) \cdot 3,00 + 4 \times 3,00 = 25,5 \text{ kN/m}$$

$$q_{Lac_{ELU}} = (1,35 \cdot 3,0 + 1,4 \cdot 1 + 1,4 \cdot 0,30 + 1,25 \cdot 0,20) \cdot 3,0 + 1,5 \cdot 4,00 \times 3,0 = 39,96 \text{ kN/m} \quad M_{sd} = \frac{0,3996 \cdot 1600^2}{8} = 127872 \text{ kN.cm}$$

Homogeneização da seção

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{25} = 23800 \text{ MPa}$$

$$\eta_0 = \frac{E_a}{E_c} = \frac{200000}{23800} = 8,40 \rightarrow \text{Ações de Curta Duração}$$

$$\eta = k \cdot \eta_0 = 2 \cdot 8,4 = 16,8 \rightarrow \text{Ações de Longa duração}$$

$$b_{ef} = \min\left(2 \cdot \frac{1600}{8}; 300\right) \rightarrow \min(400; 300) \rightarrow 300 \text{ cm}$$

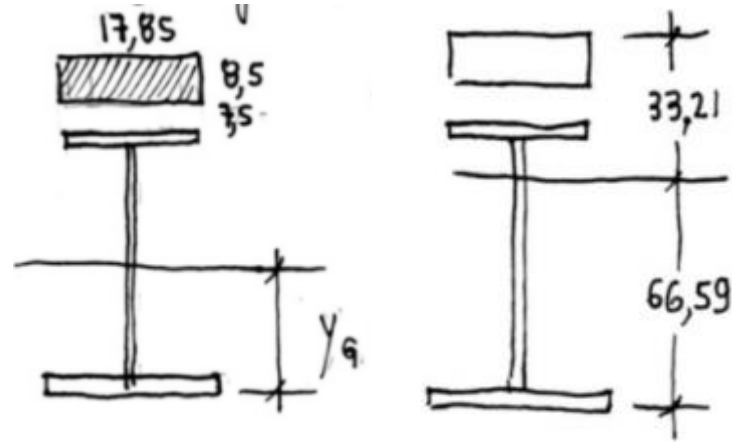
$$B_e = \frac{300}{16,8} = 17,85 \text{ cm}$$

$$y_g = \frac{133 \cdot 33,54 + 8,5 \cdot 17,85 \cdot \left(\frac{8,5}{2} + 7,5 + 83,8\right)}{133 + 17,85 \cdot 8,5} = 66,59 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = 155349 + 133 \cdot (66,59 - 33,54)^2 + \frac{17,85 \cdot 8,5^3}{12} + 17,85 \cdot 8,5 \cdot \left(33,21 - \frac{8,5}{2}\right)^2 = 428705 \text{ cm}^4$$

$$W_{Tr_i} = \frac{428705}{66,59} = 6438 \text{ cm}^3 \quad W_{Ts} = \frac{428705}{33,21} = 12909 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_t = \frac{M_{sd}}{(W_{tr})_i} \rightarrow \sigma_t = \frac{127872}{6438} = 19,86 < \frac{30}{1,1} = 27,27 \text{ kN/cm}^2 \text{ OK}$$



$$\sigma_c = \frac{M_{sd}}{\alpha_E (W_{tr})_s} \rightarrow \frac{127872}{16,8 \cdot 12909} = 0,59 < \frac{2,5}{1,4} = 1,786 \text{ kN/cm}^2 \text{ OK}$$

Exercício 9:

Verificação da quantidade de conectores

$$\frac{A_a \cdot F_y}{1,1} = \frac{133 \cdot 30}{1,1} = 3627 \text{ kN}$$

$$\frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4} = \frac{0,85 \cdot 2,5 \cdot 300 \cdot 8,5}{1,4} = 3870 \text{ kN}$$

Stud Bolt d=19mm h = 75mm Acs = 2,84cm²

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{25} = 23800 = 2380 \text{ kN/cm}^2$$

$$Q_{rd_1} = \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}} = \frac{2,84 \cdot \sqrt{2,5 \cdot 2380}}{2 \cdot 1,25} = 87,62 \text{ kN}$$

$$Q_{rd_2} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{ucs}}{\gamma_{cs}} = \frac{1 \cdot 0,75 \cdot 2,84 \cdot 41,5}{1,25} = 70,71 \text{ kN}$$

$$n_{con} = \frac{3627}{70,71} = 51,29 \approx 52 \text{ conectores}$$

$$n_{nervuras} = \frac{\frac{1600}{2}}{27,4} = 29,19 \text{ nervuras} \rightarrow \text{vamos tentar aplicar 2 conectores por nervura, totalizando 58 conectores}$$

Recalculando:

$$Q_{rd_1} = \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}} = \frac{2,84 \cdot \sqrt{2,5 \cdot 2380}}{2 \cdot 1,25} = 87,62 \text{ kN}$$

$$Q_{rd_2} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{ucs}}{\gamma_{cs}} = \frac{0,85 \cdot 0,75 \cdot 2,84 \cdot 41,5}{1,25} = 60,10 \text{ kN}$$

$$n_{con} = \frac{3627}{60,10} = 60,34 > 58 \text{ conectores (Não OK!)}$$

Exercício 9:

Podemos colocar 3 conectores em 5 nervuras diferentes, e 2 conectores no restante, assim teríamos:

$$Q_{rd_2} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{ucs}}{\gamma_{cs}} = \frac{0,7 \cdot 0,75 \cdot 2,84 \cdot 41,5}{1,25} = 49,50 \text{ kN}$$

$$Q_{rd_2} = \sum Q_{Rd} = 2 \cdot 60,10 \cdot 24 + 3 \cdot 49,50 \cdot 5 = 3627,3 > 3627 \text{ kN OK!} - \text{Total} = 63 \times 2 = 126 \text{ conectores por viga}$$

Verificação da flecha

Antes da Cura (só o perfil Resiste)

$$q_{Lac_{ELS}} = (3,00 + 1 + 0,30 + 0,20) \cdot 3,00 = 13,5 \text{ kN/m}$$

$$f = \frac{5 \cdot 0,135 \cdot 1600^4}{384 \cdot 20000 \cdot 155349} = 37 \text{ mm} - \text{Aplicar contraflecha de 37 mm}$$

Após a cura (Viga mista resiste)

$$q_{Lac_{ELS}} = (3,00 + 1 + 0,30 + 0,20) \cdot 3,00 + 4 \times 3,00 = 12 \text{ kN/m}$$

$$I_{ef} = I_a + (I_{tr} - I_a) \cdot \sqrt{\eta_i}$$

$$I_{ef} = 155349 + (428705 - 155349) \cdot \sqrt{1} = 428705 \text{ cm}^4$$

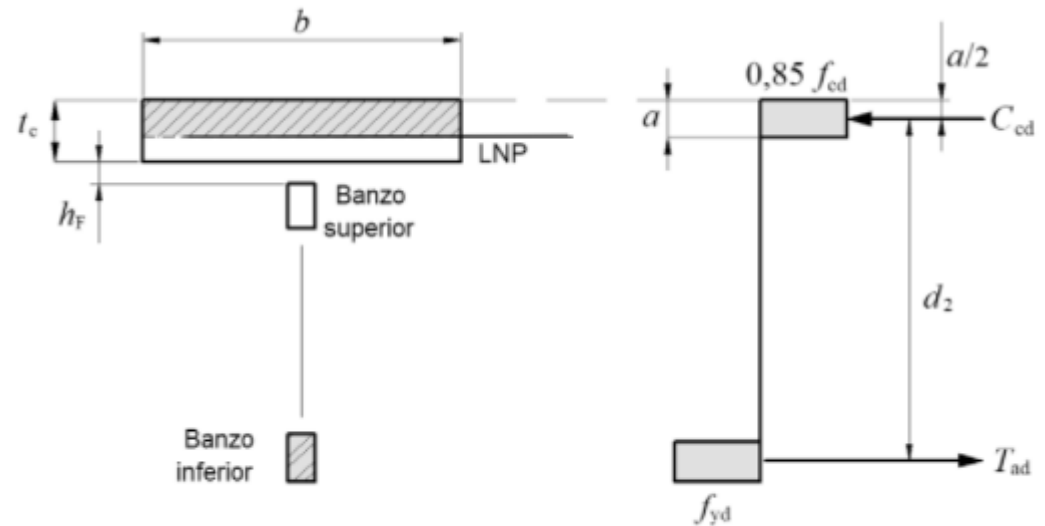
$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad f = \frac{5 \cdot 0,12 \cdot 1600^4}{384 \cdot 20000 \cdot 428705} = 2,53 \text{ cm}$$

$$f_{total} = 1,19 \text{ cm} \leq \frac{1600}{350} = 4,57 \text{ cm OK!}$$

Treliças Mistas:

$$\sum Q_{Rd} = \frac{A_{bi} \cdot F_y}{1,1}$$

$$\frac{0,85 \cdot F_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4} \geq \frac{A_{bi} \cdot F_y}{1,1}$$



Distribuição de tensões em treliças mistas (interação completa)

$$C_{cd} = \frac{0,85 \cdot F_{ck} \cdot b \cdot a}{1,4}$$

$$T_{ad} = \frac{A_{bi} \cdot f_y}{1,1}$$

$$a = \frac{1,4 \cdot T_{ad}}{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b}$$

$$M_{rd} = T_{ad} \cdot d_2$$

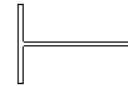
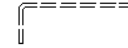
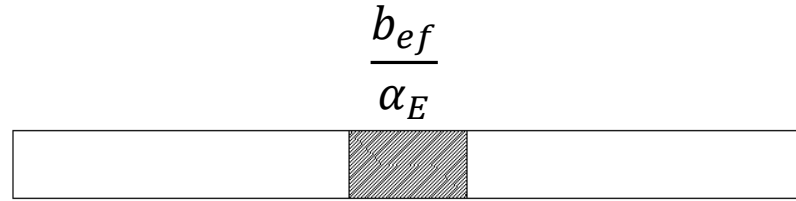
Treliças Mistas:

Antes da Cura



Antes da Cura: $I_{ef} = 0,85 \cdot I_{tr}$

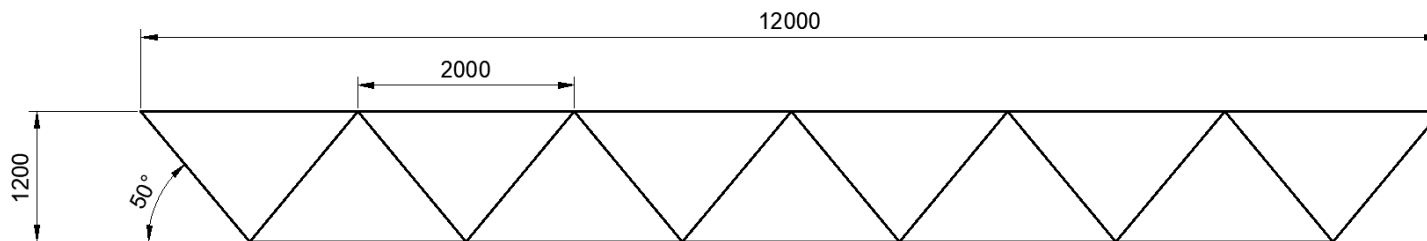
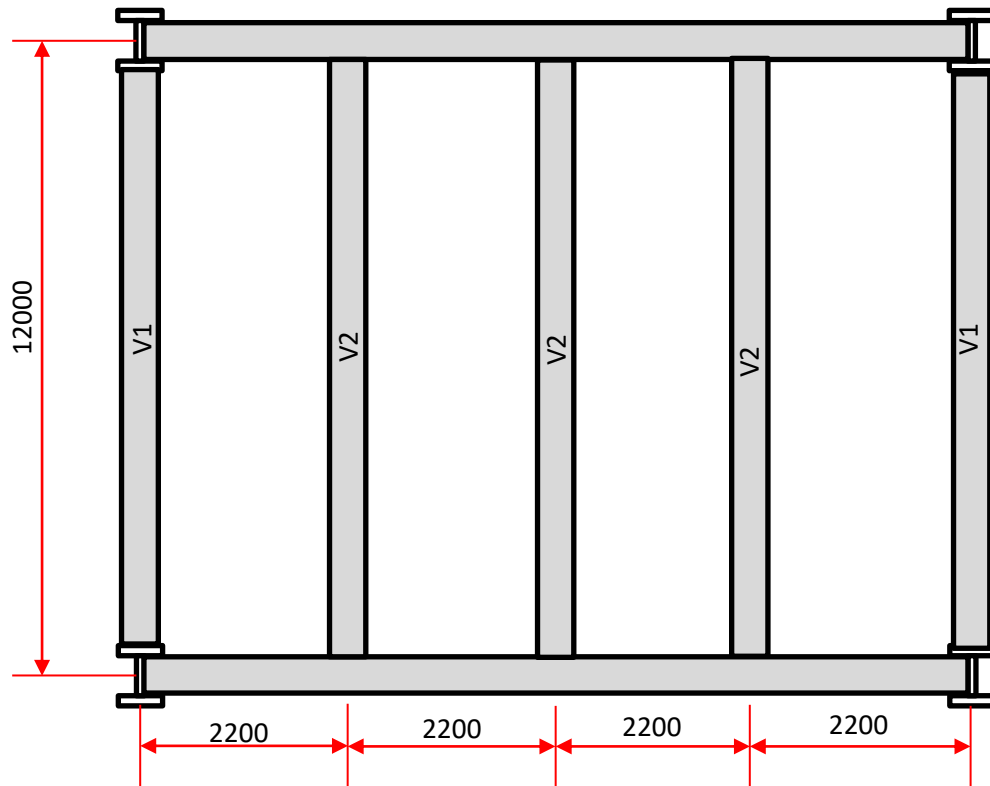
Depois da Cura



Depois da Cura: $I_{ef} = I_{tm} - 0,15 \cdot I_{tr}$

Exercício 10:

Verificar a viga V2 abaixo considerando os seguintes dados, considerando a construção Não - Escorada



Plaje = $2,08 \text{ kN/m}^2$

Contrapiso + Piso = $1,0 \text{ kN/m}^2$

Forro = $0,30 \text{ kN/m}^2$

Estrutura = $0,20 \text{ kN/m}^2$

Sobrecarga = 4 kN/m^2

Formas MF-50

Aço ASTM A36 ($F_y = 250 \text{ MPa}$, $F_u = 400 \text{ MPa}$)

$F_{ck} = 20 \text{ MPa}$

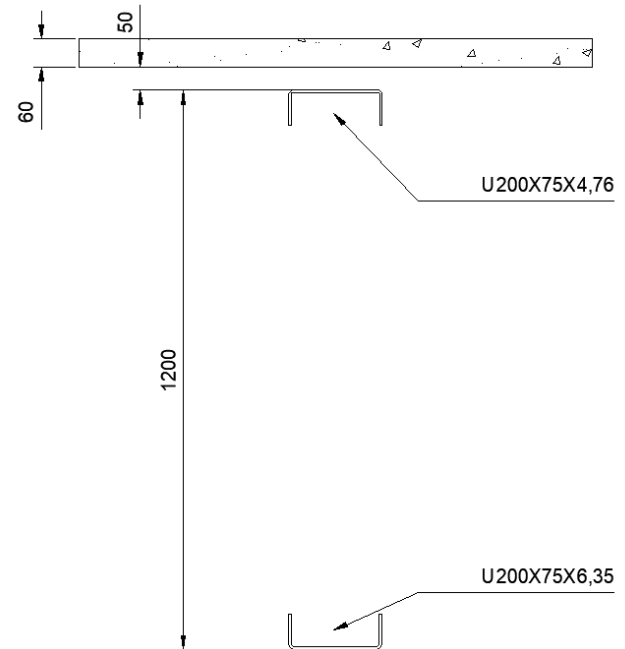


Tabela de cargas e vão máximos - MF-50

	Altura total da laje (mm)	Espessura Seel Deck (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento					Peso Próprio (kN/m²)	M. Inércia Laje Mista (10⁶mm⁴/m)	Vãos Máximos sem Escoramento										Vãos Máximos sem Escoramento				
			Simplex (mm)	Duplos (mm)	Tripos (mm)	Balanço (mm)	1.800			1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.650	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100	3.200
Lajes de Forno	100	0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	9,31	8,14	7,14	6,28	5,54	4,89	4,32	3,82	3,38	3,18	2,99	2,63	2,32	2,03	1,78	1,54
		0,95	2.550	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,68	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44	2,16
		1,25	3.200	3.800	3.800	1.450	1,89	6,26	16,43	14,45	12,76	11,31	10,05	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,19	3,77	3,38
Lajes de Piso	110	0,80	1.800	2.700	2.800	900	2,08	6,89	10,56	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,84	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02	1,76
		0,95	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	13,25	11,62	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78	2,46
		1,25	3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29	3,85
	120	0,80	1.650	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,98	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27	1,98
		0,95	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12	2,76
		1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,33	16,20	14,36	12,77	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32
	130	0,80	1.490	2.500	2.600	850	2,55	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52	2,19
		0,95	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46	3,06
		1,25	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,06	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33	4,79
	140	0,80	1.350	2.450	2.500	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77	2,41
		0,95	1.850	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,87	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,06	5,40	4,81	4,27	3,79	3,36
		1,25	2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	19,63	17,41	15,49	13,82	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,23	6,50	5,85	5,26
	150	0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,28	8,20	7,26	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02	2,63
		0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,54	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,66	4,13	3,66
		1,25	2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37	5,72
160	0,80	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26	2,84	
	0,95	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,69	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47	3,96	
	1,25	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,53	13,03	11,69	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89	6,19	
170	0,80	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51	3,06	
	0,95	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,89	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81	4,26	
	1,25	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	

Solicitações – Antes da Cura

$$q_{LacELSAc} = (2,08 + 0,20) \cdot 2,2 = 5,01 \text{ kN/m}$$

$$q_{LacELUAc} = (1,35 \cdot 2,08 + 1,25 \cdot 0,20) \cdot 2,2 + 1,5 \cdot 1,00 \times 2,2 = 10 \text{ kN/m}$$

$$M_{Sd} = \frac{0,10 \cdot 1200^2}{8} = 18000 \text{ kN.cm} \quad V_{Sd} = \frac{0,10 \cdot 1200}{2} = 60 \text{ kN}$$

$$N_{C,SdBS} = N_{tSdBS} = \frac{18000}{0,95 \cdot 120} = 157,9 \text{ kN}$$



DimPerfil 4.0 - Dimensionamento de Perfis de Aço Formados a Frio

File Help

Escolha do Perfil Cálculo dos Esforços

Dimensões (cm)

D = 0
 $\alpha = 0$
bw = 20
bf = 7.5
t = 0.475
 $\beta = 90$

Comprimentos (cm)

Lx: 10
Ly: 200
Lt: 200

Esforços Solicitantes

Nd: kN
Mxd: kN.cm
Myd: kN.cm
Vd: kN

Coefficiente de Momento

Em X Cb: 1
Em Y Cb: 1

Resultados

Resultado:
Nc_MLE
197,771 kN

Item a ser calculado:

Esforço Resistente à Compressão Centrada

NBR 14762:2010

Flexão Composta

Nrd

Nt

Nc_MLE

Ndist

Larguras efetivas

Mrd

Mxrd

Myrd

Flexão Composta

Mostrar perfil

By Edson Lubas Silva

DimPerfil 4.0 - Dimensionamento de Perfis de Aço Formados a Frio

File Help

Escolha do Perfil Cálculo dos Esforços

Dimensões (cm)

D = 0
 $\alpha = 0$
bw = 20
bf = 7.5
t = 0.63
 $\beta = 90$

Comprimentos (cm)

Lx: 10
Ly: 200
Lt: 200

Esforços Solicitantes

Nd: kN
Mxd: kN.cm
Myd: kN.cm
Vd: kN

Coefficiente de Momento

Em X Cb: 1
Em Y Cb: 1

Resultados

Resultado:
Nt
452,621 kN

Item a ser calculado:

Esforço Resistente à Tração Centrada

NBR 14762:2010

Flexão Composta

Nrd

Nt

Nc_MLE

Ndist

Larguras efetivas

Mrd

Mxrd

Myrd

Flexão Composta

Mostrar perfil

By Edson Lubas Silva

Banzo Superior

Banzo Inferior

Calculo das Propriedades da Seção

bf = 7.5 cm
A = 15.88323 cm²
Ixy = 0 cm⁴
yg = -10 cm
r0 = 8.97157 cm
Wx = 92.39708 cm³
zm = 0.7125 cm

bw = 20 cm
Ix = 923.97075 cm⁴
It = 1.19251 cm⁴
x0 = -4.14281 cm
rx = 7.6271 cm
Wy = 14.40333 cm³
 $\phi p = 0^\circ$

$\alpha = 0^\circ$
Iy = 81.85418 cm⁴
xg = -1.817 cm
y0 = 0 cm
ry = 2.27013 cm
Iw = 5304.3718 cm⁶
m = 12.46834 kg/m

Calculo das Propriedades da Seção

bf = 7.5 cm
A = 20.74515 cm²
Ixy = 0 cm⁴
yg = -10 cm
r0 = 8.88677 cm
Wx = 118.15576 cm³
zm = 0.945 cm

bw = 20 cm
Ix = 1181.55764 cm⁴
It = 2.73827 cm⁴
x0 = -4.11812 cm
rx = 7.54691 cm
Wy = 18.69956 cm³
 $\phi p = 0^\circ$

$\alpha = 0^\circ$
Iy = 104.96826 cm⁴
xg = -1.88659 cm
y0 = 0 cm
ry = 2.24942 cm
Iw = 6554.19381 cm⁶
m = 16.28494 kg/m

$$Y_g = \frac{20,74 \cdot 1,8869 + 15,88 \cdot (120 - 1,817)}{20,74 + 15,88} = 52,31 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = 81,85 + 15,88 \cdot (120 - 1,817 - 52,31)^2 + 104,96 + 20,74 \cdot (52,31 - 1,8869)^2 = 121825 \text{ cm}^4$$

$$I_{ef} = 0,85 \cdot I_{tr} = 0,85 \cdot 121825 = 103551 \text{ cm}^4$$

$$q_{Lac_{ELS}_{Ac}} = (2,08 + 0,20) \cdot 2,2 = 5,01 \text{ kN/m}$$

$$f = \frac{5 \cdot 0,0501 \cdot 1200^4}{384 \cdot 20000 \cdot 103551} = 0,65 \text{ cm} \rightarrow \text{Aplicar contraflecha de 6,5mm}$$

$$q_{Lac_{ELS}_{Ac}} = (2,08 + 1,00 + 0,30 + 0,20) \cdot 2,2 + 4,00 \times 2,2 = 16,68 \text{ kN/m}$$

$$q_{Lac_{ELU}_{Ac}} = (1,35 \cdot 2,08 + 1,35 \cdot 1,00 + 1,4 \cdot 0,30 + 1,25 \cdot 0,20) \cdot 2,2 + 1,5 \cdot 4,00 \times 2,2 = 23,82 \text{ kN/m}$$

$$M_{Sd} = \frac{0,2382 \cdot 1200^2}{8} = 42876 \text{ kN.cm} \quad V_{Sd} = \frac{0,2382 \cdot 1200}{2} = 142,9 \text{ kN}$$

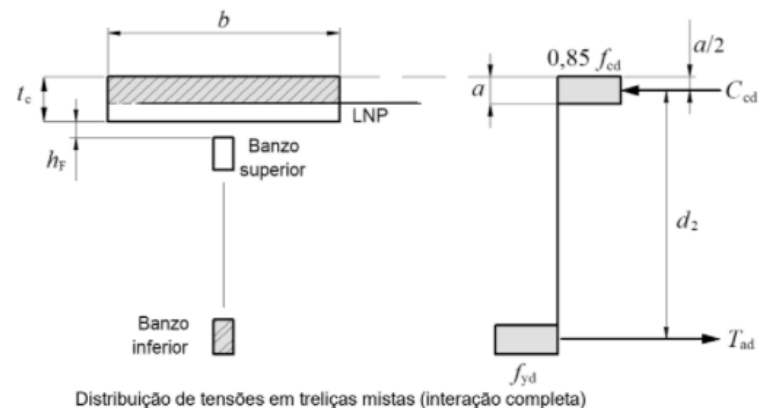
$$\text{Largura Efetiva: } B_{ef} = \min\left(\frac{2 \cdot 1200}{8}; 220\right) = \min(300, 220) = 220 \text{ cm}$$

$$\frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,4} = \frac{0,85 \cdot 2,00 \cdot 6,0 \cdot 220}{1,4} = 1602 \text{ kN}$$

$$T_{ad} = \frac{A_{bi} \cdot F_y}{1,1} = \frac{20,74 \cdot 25}{1,1} = 471 \text{ kN}$$

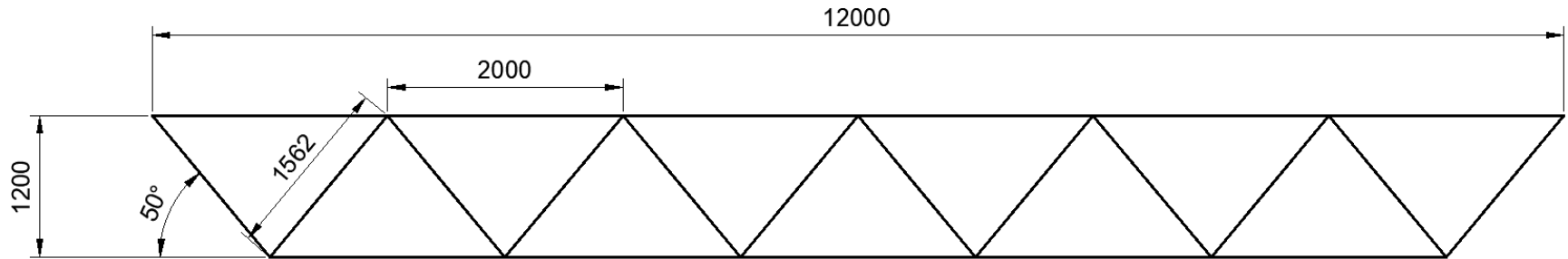
$$a = \frac{1,4 \cdot T_{ad}}{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b} \rightarrow \frac{1,4 \cdot 471}{0,85 \cdot 2 \cdot 220} = 1,76 \text{ cm}$$

$$d_2 = \left(120 + 5 + 6 - \frac{1,76}{2} - 1,8869\right) = 128,23 \text{ cm}$$



$$M_{Rd} = T_{ad} \cdot d_2 \rightarrow M_{Rd} = 471 \cdot 128,23 = 60397,8 \text{ kN.cm} > 42876 \text{ kN.cm OK!}$$

Verificação das Diagonais



$$N_c, Sd = \frac{V}{\sin 50} = \frac{142,9}{0,77} = 185,6 \text{ kN}$$

Laminado

Identificação
 Perfil

Dimensões
 bf* mm Ag* cm²
 tf* mm Ix*=Iy* cm⁴
 x=y* cm rz* cm
 P* kgf/m

* Dado referente a uma única cantoneira

Espaçamento
 e mm

Compr. Flambagem
 Lfx cm
 Lfy cm

Solicitações
 Nd kN

Resultados
 Rd(Nd) kN
 Espaçadores em X a cada cm

Perfil indicado para elementos sujeitos à tração ou compressão (Ex.: elementos de treliça)

Flecha Depois da Cura

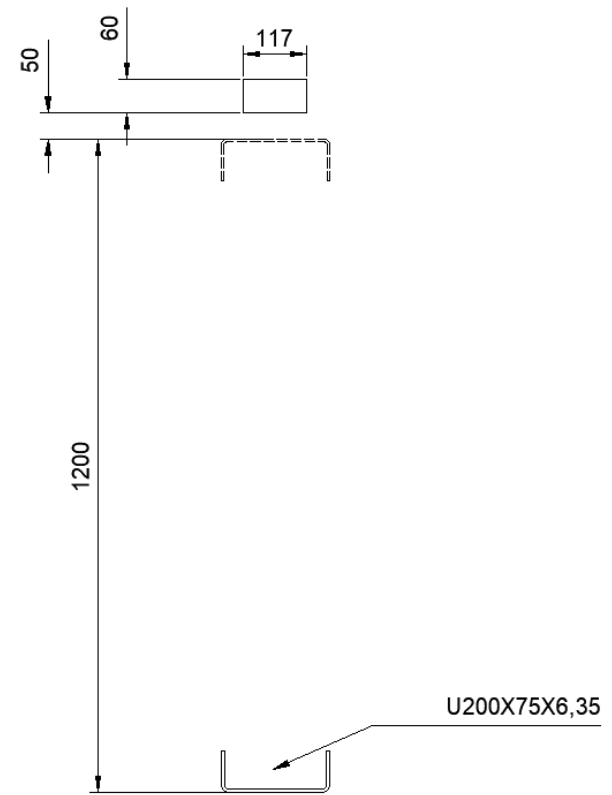
$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \rightarrow 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{20} = 21287 \text{ MPa}$$

$$\eta_0 = \frac{E_a}{E_c} = \frac{200000}{21287} = 9,40$$

$$\eta = k \cdot \eta_0 = 2 \cdot 9,4 = 18,8$$

$$B_{ef} = \frac{b}{\alpha_e} = \frac{220}{18,8} = 11,70 \text{ cm}$$

$$Y_g = \frac{20,74 \cdot 1,8869 + 11,7 \cdot 6 \cdot \left(\frac{6}{2} + 5 + 120\right)}{20,74 + 11,7 \cdot 6} = 99,23 \text{ cm}$$



$$I_{tm} = 104,96 + 20,74 \cdot (99,23 - 1,889)^2 + \frac{11,7 \cdot 6^3}{12} + 11,7 \cdot 6 \cdot \left(\frac{6}{2} + 5 + 120 - 99,23\right)^2 = 254938 \text{ cm}^4$$

$$I_{ef} = I_{tm} - 0,15 \cdot I_{tr} = 254938 - 0,15 \cdot 121825 = 236664 \text{ cm}^4$$

$$q_{Lac_{ELS_{Ac}}} = (2,08 + 1,00 + 0,30 + 0,20) \cdot 2,2 + 4,00 \times 2,2 = 11,66 \text{ kN/m}$$

$$f = \frac{5 \cdot 0,1166 \cdot 1200^4}{384 \cdot 20000 \cdot 236664} = 0,665 \text{ cm} \rightarrow \frac{L}{1804} \text{ OK!}$$

Determinação da quantidade de conectores

$$\sum Q_{Rd} = \frac{A_{bi} \cdot F_y}{1,1} \quad \sum Q_{Rd} = \frac{20,74 \cdot 25}{1,1} = 471,36 \text{ kN}$$

Stud Bolt d=19mm h = 75mm Acs = 2,84cm²

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \rightarrow 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{20} = 21287 \text{ MPa}$$

$$Q_{rd_1} = \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}} = \frac{2,84 \cdot \sqrt{20 \cdot 21287}}{2 \cdot 1,25} = 74,12 \text{ kN}$$

$$Q_{rd_2} = \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot F_{ucs}}{\gamma_{cs}} = \frac{1 \cdot 0,75 \cdot 2,84 \cdot 41,5}{1,25} = \mathbf{70,71 \text{ kN}}$$

$$n = \frac{471,36}{70,71} = 6,67 \approx 7 \text{ conectores}$$

$$n_{nervuras} = \frac{\frac{1200}{2}}{30,5} = 19,67 \text{ nervuras, OK!}$$