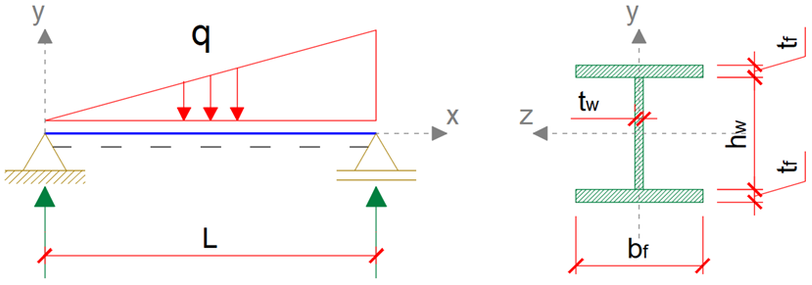
B2T5NA0505A

Para a viga esboçada ao lado calcular o máximo vão L possível de ser adotado de modo que a mesma ainda atenda as verificações de Momentos Fletores (em FLA e FLM), de esforços cortantes e de deslocamentos máximos (flechas)

- Viga travada lateralmente ao longo de todo o comprimento longitudinal L;
- Viga de piso de uma edificação comercial;
- Combinações Normais em ELU e Quase Permanentes em ELS;
- A viga não possui enrijecedores transversais;
- Perfil I soldado;

Dados:
q1 = D1 kN/m (carga permanente)
q2 = D2 kN/m (carga acidental de ocupação)
bf = D3 mm
tf = 8 mm
hw = D4 mm
tw = 6.3 mm
Aço = D5 (tensão de escoamento em MPa)



$D1 = 10$ $D2 = 20$ $D3 = 200$ $D4 = 350$ $D5 = 350$ $E := 200\ GPa$

$q1 := D1\ \frac{kN}{m}$ $q2 := D2\ \frac{kN}{m}$ $bf := D3\ mm$ $tf := 8\ mm$ $hw := D4\ mm$ $tw := 6,3\ mm$ $fy := D5\ MPa$ $ya1 := 1,1$

Q01 – Qual o módulo plástico da seção transversal em relação ao eixo “z” [em cm³]?
Q02 – Qual o módulo elástico da seção transversal em relação ao eixo “z” [em cm³]?
Q03 – Qual o momento fletor resistente da seção transversal em relação à verificação FLA [em kNm]?
Q04 – Qual o momento fletor resistente da seção transversal em relação à verificação FLM [em kNm]?
Q05 – Qual o esforço cortante resistente da seção transversal [em kN]?
Q06 – Qual o valor do carregamento em combinação normal ELU para a viga [em kN/m]?
Q07 – Qual o valor do carregamento em combinação quase permanente ELS para a viga [em kN/m]?
Q08 – Qual o máximo valor de “L”, possível de ser adotado, de modo que a verificação de momentos fletores FLA ainda seja atendida [em m]?
Q09 – Qual o máximo valor de “L”, possível de ser adotado, de modo que a verificação de momentos fletores FLM ainda seja atendida [em m]?
Q10 – Qual o máximo valor de “L”, possível de ser adotado, de modo que a verificação de esforços cortantes ainda seja atendida [em m]?
Q11 – Qual o máximo valor de “L”, possível de ser adotado, de modo que a verificação de flecha ainda seja atendida [em m]?

Propriedades Geométricas Básicas / Momentos Fletores Resistentes Básicos:

Chamando de "z" o eixo horizontal da seção trasnsversal:

$d := 2 \cdot tf + hw = 36,600\ \text{cm}$

$Iz := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 12506\ \text{cm}^4$

$Wz := \frac{Iz}{0,5 \cdot d} = 683,38\ \text{cm}^3$

$Zz := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \left(\frac{tf}{2} + \frac{hw}{2} \right) + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \left(\frac{hw}{4} \right) \right) = 765,7375\ \text{cm}^3$

$My := Wz \cdot fy = 23920\ \text{kN cm}$

$Mpl := Zz \cdot fy = 26800\ \text{kN cm}$

$Mrd_lim := \frac{1,5 \cdot Wz \cdot fy}{\gamma a1} = 32620\ \text{kN cm}$

Combinações de Ações:

$\gamma g := 1,3 \qquad \gamma q := 1,5 \qquad \psi 2 := 0,4$

$q_elu := \gamma g \cdot q1 + \gamma q \cdot q2 = 43,000\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$q_els := q1 + \psi 2 \cdot q2 = 18\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Momento Resistente FLA :

FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h_w}{t_w}$	$3,76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 55,5556$

$\lambda_{pFLA} := 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 89,8812$

$\lambda_{rFLA} := 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 136,2561$

FLA / FLM

Tipo de Seção	Relação de Parâmetros	Expressão de Cálculo
Compacta	$\lambda \le \lambda_p$	$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Semi-compacta	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}}\left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r)\frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Esbelta	$\lambda_r < \lambda$	$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}$ Não aplicável à FLA (vide anexo H)

$Mrd_FLA := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}\ \frac{Mpl}{\gamma a1}\ \text{else}\ \frac{1}{\gamma a1} \cdot \left(Mpl - (Mpl - My) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})} \right) = 243,64\ \text{kN m}$

$Tipo_de_Alma_Flex := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}\ \text{"Compacta"}\ \text{else if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{rFLA}\ \text{"Semicompacta"}\ \text{else "Esbelta"} = \text{"Compacta"}$

Momento Resistente FLM :

FLM	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	b/t ver Nota 8	$0{,}38\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6

$\lambda_{FLM} := \frac{0{,}5 \cdot bf}{tf} = 12{,}5$

$\lambda_{pFLM} := 0{,}38 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 9{,}0837$

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0{,}53666$

$kc :=$ if $kc_calc > 0{,}76$ $= 0{,}53666$
$\quad 0{,}76$
$\quad$ else
$\quad\quad$ if $kc_calc < 0{,}35$
$\quad\quad\quad 0{,}35$
$\quad\quad$ else
$\quad\quad\quad kc_calc$

FLA / FLM		
Tipo de Seção	**Relação de Parâmetros**	**Expressão de Cálculo**
Compacta	$\lambda \le \lambda_p$	$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Semi-compacta	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}}\left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r)\frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Esbelta	$\lambda_r < \lambda$	$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}$ Não aplicável à FLA (vide anexo H)

Para perfis soldados: $M_{cr} = \frac{0{,}90Ek_c}{\lambda^2}W_c$, $\lambda_r = 0{,}95\sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$

com kc: $k_c = \frac{4}{\sqrt{h_w/t_w}}$ sendo $0{,}35 \le k_c \le 0{,}76$

$\lambda_{rFLM} := 0{,}95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{(fy - 0{,}30 \cdot fy)}{kc}}} = 19{,}884$

$Mr := (fy - 0{,}3 \cdot fy) \cdot Wz = 16743$ kN cm

*** Perfil simétrico em relação ao eixo "z" logo: $Wc := W$

$Mrd_FLM :=$ if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM}$ $= 214{,}7$ kN m
$\quad \frac{Mpl}{\gamma a1}$
$\quad$ else
$\quad\quad$ if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}$
$\quad\quad\quad \frac{1}{\gamma a1} \cdot \left(Mpl - (Mpl - Mr) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM})}{(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM})}\right)$
$\quad\quad$ else
$\quad\quad\quad \frac{0{,}90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^{\,2}} \cdot Wc$

$Tipo_de_Mesa :=$ if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM}$ $=$ "Semicompacta"
$\quad$ "Compacta"
$\quad$ else
$\quad\quad$ if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}$
$\quad\quad\quad$ "Semicompacta"
$\quad\quad$ else
$\quad\quad\quad$ "Esbelta"

Cortante Resistente:

Tipo de Alma	Relação de Parâmetros	Expressão de Cálculo
Compacta	$\lambda \le \lambda_p$	$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Semi-compacta	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda\, \gamma_{a1}}$
Esbelta	$\lambda_r < \lambda$	$V_{Rd} = 1{,}24\left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$

$V_{pl} = 0{,}60A_w f_y = 0{,}60dt_w f_y$

$\lambda = \frac{h_w}{t_w}$ $\lambda_p = 1{,}10\sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$ $\lambda_p = 1{,}37\sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$

k_v igual a 5,0 para almas sem enrijecedores transversais, para $\frac{a}{h_w} > 3$ ou para $\frac{a}{h_w} > \left[\frac{260}{h_w/t_w}\right]^2$ e $5 + \frac{5}{(a/h_w)^2}$ para os demais casos.

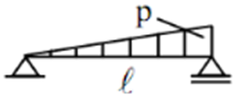
$Aw := d \cdot tw = 23{,}058$ cm^2 $Vpl := 0{,}60 \cdot Aw \cdot fy = 484{,}218$ kN $kv := 5{,}0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 55,5556$ $\lambda_{pCIS} := 1,10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 58,7975$ $\lambda_{rCIS} := 1,37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 73,2296$

$Tipo_de_Alma_CIS := \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} = \text{"Compacta"}$
"Compacta"
else
if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$
"Semicompacta"
else
"Esbelta"

$Vrd := \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} = 440,1982 \text{ kN}$
$\frac{Vpl}{\gamma a1}$
else
if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$
$\frac{\lambda_{pCIS} \cdot Vpl}{\lambda_{CIS} \cdot \gamma a1}$
else
$1,24 \cdot \left(\frac{\lambda_{pCIS}}{\lambda_{CIS}}\right)^2 \cdot \frac{Vpl}{\gamma a1}$

Solicitações Máximas:

	$\frac{3}{460}\frac{pL^4}{EI}$	0,519 L	$\frac{pL^4}{360EI}(-3\alpha^5 + 10\alpha^3 - 7\alpha)$

$E \cdot Iz = 2,5011 \cdot 10^8 \text{ kN cm}^2$

$\delta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{360 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(-3 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^5 + 10 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^3 - 7 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)\right)$

$\theta(x) := \frac{d}{dx}\delta(x) \text{ --> } \theta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{360 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(-15 \cdot \left(\frac{x^4}{L^5}\right) + 30 \cdot \left(\frac{x^2}{L^3}\right) - 7 \cdot \left(\frac{1}{L}\right)\right)$

$M(x) := E \cdot Iz \cdot \frac{d}{dx}\theta(x) \text{ --> } M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{360} \cdot \left(-60 \cdot \left(\frac{x^3}{L^5}\right) + 60 \cdot \left(\frac{x}{L^3}\right)\right) \text{ -->} M(x) := q_elu \cdot \left(-\frac{x^3}{6 \cdot L} + \frac{L \cdot x}{6}\right)$

$V(x) := \frac{d}{dx}M(x) \text{ --> } V(x) := q_elu \cdot \left(-\frac{x^2}{2 \cdot L} + \frac{L}{6}\right)$

Posição do máximo momento fletor: M'(x) = V(x) = 0 $x := \sqrt{\frac{2 \cdot L^2}{6}}$ $x := \frac{L}{\sqrt{3}}$

$M_max := q_elu \cdot \left(-\frac{L^3}{6 \cdot 3 \cdot \sqrt{3} \cdot L} + \frac{L^2}{6 \cdot \sqrt{3}}\right) \text{ --> } M_max := q_elu \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{27} \cdot L^2\right)$

$V_0 := \frac{q_elu \cdot L}{6}$ $V_L := q_elu \cdot \left(-\frac{L^2}{2 \cdot L} + \frac{L}{6}\right) \text{ --> } V_L := \frac{-q_elu \cdot L}{3} \text{ --> } V_max := \frac{q_elu \cdot L}{3}$

Igualando Solicitações e Resistências e cálculando os máximos vãos:

Msd = Mrd :

$M_max := q_elu \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{27} \cdot L^2 \right)$ $Mrd_FLA = 243,64\ kN\ m$ $Mrd_FLM = 214,72\ kN\ m$

$L_{FLA} := \sqrt{\frac{27 \cdot Mrd_FLA}{\sqrt{3} \cdot q_elu}} = 9,3982\ m$ $L_{FLM} := \sqrt{\frac{27 \cdot Mrd_FLM}{\sqrt{3} \cdot q_elu}} = 8,8228\ m$

Vsd = Vrd :

$V_max := \frac{q_elu \cdot L}{3}$ $Vrd = 440,20\ kN$

$L_V := 3 \cdot \frac{Vrd}{q_elu} = 30,712\ m$

δ calc. = δ lim:

$\delta lim := \frac{L}{350}$ $\delta calc := \frac{3 \cdot q_els \cdot L^4}{460 \cdot E \cdot Iz}$

$L_\delta := \left(\frac{460 \cdot E \cdot Iz}{350 \cdot 3 \cdot q_els} \right)^{\frac{1}{3}} = 8,4751\ m$

Resultados:

$G01 := \frac{Zz}{3\ cm} = 765,7375$

$G02 := \frac{Wz}{3\ cm} = 683,3751$

$G03 := \frac{Mrd_FLA}{kN\ m} = 243,6438$

$G04 := \frac{Mrd_FLM}{kN\ m} = 214,7209$

$G05 := \frac{Vrd}{kN} = 440,1982$

$G06 := \frac{q_elu}{kN\ m^{-1}} = 43$

$G07 := \frac{q_els}{kN\ m^{-1}} = 18$

$G08 := \frac{L_{FLA}}{m} = 9,3982$

$G09 := \frac{L_{FLM}}{m} = 8,8228$

$G10 := \frac{L_V}{m} = 30,7115$

$G11 := \frac{L_\delta}{m} = 8,4751$

$G12 := \frac{0}{kN} = 0,000$

$G13 := \frac{0}{kN} = 0,000$

$G14 := \frac{0}{kN} = 0,000$

$G15 := \frac{0}{kN\ m} = 0,000$

$G16 := \frac{0}{kN\ m} = 0,000$

$R01 := V_1 = 2222$

$R02 := V_2 = 125,5$

$R03 := V_3 = 9999$

$R04 := V_4 = 9999$

$R05 := V_5 = 2000$

$R06 := V_6 = 321$

$R07 := V_7 = 9999$

$R08 := V_8 = 9999$

$R09 := V_9 = 9999$

$R10 := V_{10} = 9999$

$R11 := V_{11} = 9999$

$R12 := V_{12} = 9999$

$R13 := V_{13} = 9999$

$R14 := V_{14} = 9999$

$R15 := V_{15} = 9999$

$R16 := V_{16} = 9999$

$N01 := gab(R01; G01) = 0$

$N02 := gab(R02; G02) = 0$

$N03 := gab(R03; G03) = 0$

$N04 := gab(R04; G04) = 0$

$N05 := gab(R05; G05) = 0$

$N06 := gab(R06; G06) = 0$

$N07 := gab(R07; G07) = 0$

$N08 := gab(R08; G08) = 0$

$N09 := gab(R09; G09) = 0$

$N10 := gab(R10; G10) = 0$

$N11 := gab(R11; G11) = 0$

$N12 := gab(R12; G12) = 0$

$N13 := gab(R13; G13) = 0$

$N14 := gab(R14; G14) = 0$

$N15 := gab(R15; G15) = 0$

$N16 := gab(R16; G16) = 0$

$Acertos := N01 + N02 + N03 + N04 + N05 + N06 + N07 + N08 + N09 + N10 + N11 + N12 + N13 + N14 + N15 + N16$

$Nota := Acertos.peso = 0$