

Dimensionamento de enrijecedores em perfis I e H sujeitos a cargas concentradas

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

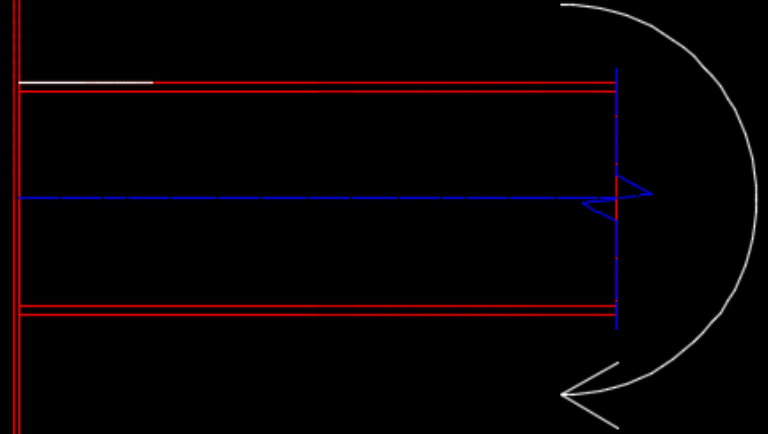
Prof. Eng. Felipe Jacob

www.calculistadeaco.com.br

W150X22,5

W310X32,9

Msd 3500 kN.cm



The diagram illustrates a built-up beam section consisting of two parallel W-shapes. The top shape is labeled 'W310X32,9' and the bottom shape is labeled 'W150X22,5'. A curved arrow on the right side indicates a bending moment 'Msd 3500 kN.cm' applied to the section. The beam is represented by two vertical lines (one red, one blue) and two horizontal lines (one red, one blue) connecting them. A dashed blue line runs vertically through the center of the section.

Verificação da necessidade de enrijecedores para suportar o esforço localizado de tração na mesa do pilar

Esforço Resistente de Cálculo na mesa tracionada

$$F_{Rd} = \frac{6,25 \cdot t_f^2 \cdot F_y}{1,1} \rightarrow \frac{6,25 \cdot 0,66^2 \cdot 34,5}{1,1} \rightarrow 85,38 \text{ kN}$$

Esforço Solicitante de Cálculo na mesa tracionada

$$\sigma = \frac{M}{W} \rightarrow \frac{3500}{419,8} \rightarrow 8,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = \sigma \cdot A \rightarrow F = 8,33 \cdot 1,08 \cdot 10,2 = 91,76 \text{ kN}$$

É necessário reforçar a mesa tracionada

5.7.2 Flexão local da mesa

5.7.2.1 A mesa de uma barra, solicitada por uma força localizada que produza tração na alma, deve ser verificada quanto ao estado-limite último de flexão local. Essa verificação não precisa ser feita se o comprimento de atuação da força, na direção perpendicular ao comprimento da barra, for inferior a $0,15 b_f$, onde b_f é a largura da mesa carregada.

5.7.2.2 A menos do disposto em 5.7.2.4, a força localizada solicitante de cálculo não pode superar a força resistente de cálculo da mesa da barra, dada por:

$$F_{Rd} = \frac{6,25 t_f^2 f_y}{\gamma_{a1}}$$

onde t_f é a espessura da mesa carregada.

5.7.2.3 Quando a força atua a uma distância da extremidade da barra menor que 10 vezes a espessura da mesa, a força resistente dada em 5.7.2.2 deve ser reduzida à metade.

5.7.2.4 Se a força localizada solicitante de cálculo superar a força resistente de cálculo devem ser colocados, na seção de atuação da força, enrijecedores transversais de ambos os lados da alma (ver 5.7.9).

Verificação da necessidade de enrijecedores para suportar o esforço localizado de tração na mesa do pilar

Escoamento da seção bruta

$$F_{Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} \rightarrow 91,76 = \frac{2 * (7,3 * t) \cdot 25}{1,1}$$

$$t = \frac{91,76 * 1,1}{2 * 25 * 7,3} = 0,2735 \text{ ou } 2,74 \text{ mm}$$

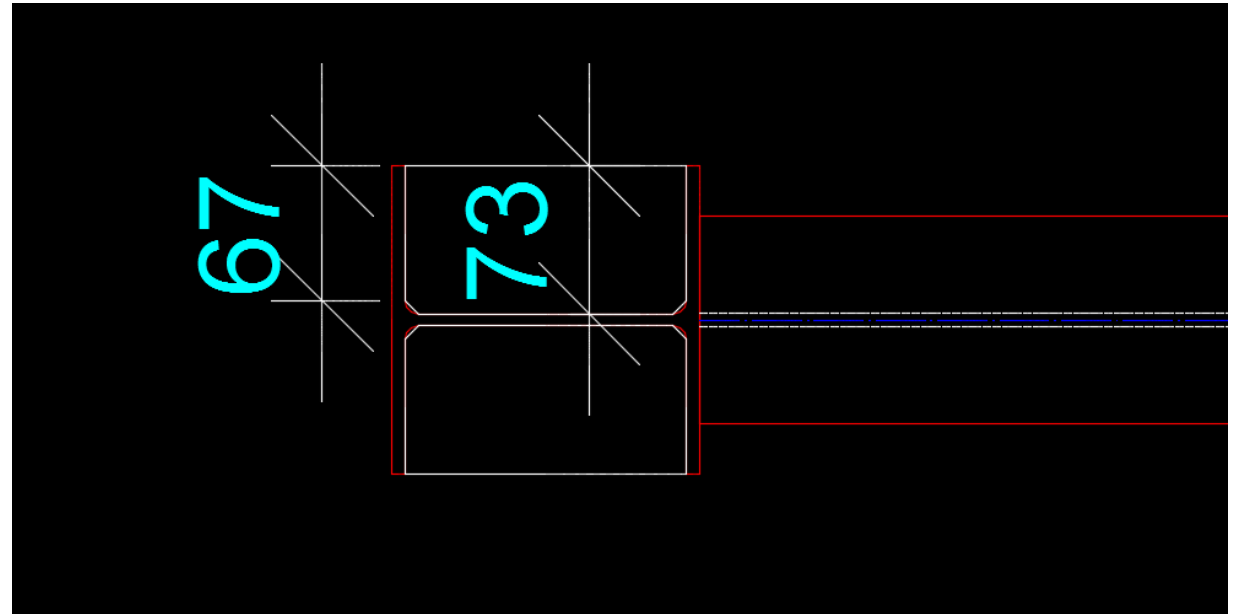
Ruptura da seção líquida

$$F_{Rd} = \frac{Ct \cdot An \cdot Fu}{1,35} = \frac{1 * 2 * (6,7 * t) \cdot 40}{1,35}$$

$$t = \frac{91,76 * 1,35}{2 * 40 * 6,7} = 2,311$$

5.7.9 Exigências adicionais para enrijecedores para forças localizadas

5.7.9.1 Enrijecedores transversais necessários para resistir a forças localizadas que produzam tração na alma devem dimensionados de acordo com 5.2, tomando como área bruta a área deles e como área líquida efetiva a área da seção ligada à mesa, descontando-se os recortes que porventura existam. Esses enrijecedores devem ser soldados à mesa carregada e à alma, e se estender pelo menos até a metade da altura da alma. A solda entre o enrijecedor e a mesa carregada deve ser capaz de suportar a diferença entre a força solicitante e a força resistente de cálculo. A solda entre o enrijecedor e a alma deve ser capaz de transferir para a alma essa diferença.



Verificação da necessidade de enrijecedores para o esforço localizado de Tração

Esforço Resistente de cálculo da alma tracionada

$$F_{Rd} = \frac{1,10 \cdot (5k + l) \cdot f_y \cdot t_w}{1,1} \rightarrow \frac{1,10 \cdot (5 * (0,58 + 0,7) + 1,1) \cdot 34,5 \cdot 0,66}{1,1}$$

$$F_{Rd} = 170,77 \text{ kN} > 91,76 \text{ kN}$$

Não há necessidade de enrijecedores para essa verificação

5.7.3 Escoamento local da alma

5.7.3.1 A alma de uma barra, solicitada por tração ou compressão provocada por uma força localizada que atue na mesa, deve ser verificada para o estado-limite último de escoamento local.

5.7.3.2 A menos do disposto em 5.7.3.3, a força solicitante de cálculo não pode superar a força resistente de cálculo da alma da barra, dada por:

a) quando a força está a uma distância da extremidade da barra maior que a altura da seção transversal:

$$F_{Rd} = \frac{1,10 (5k + \ell_n) f_y t_w}{\gamma_{a1}}$$

b) quando a força está a uma distância da extremidade da barra inferior ou igual à altura da seção transversal:

$$F_{Rd} = \frac{1,10 (2,5k + \ell_n) f_y t_w}{\gamma_{a1}}$$

onde:

ℓ_n é o comprimento de atuação da força na direção longitudinal da viga;

K é a espessura da mesa carregada mais o lado do filete de solda paralelo à alma, no caso de perfis soldados, ou a espessura da mesa mais o raio de concordância com a alma, no caso de perfis laminados;

t_w é a espessura da alma.

5.7.3.3 Se a força solicitante de cálculo superar a força resistente de cálculo, devem ser colocados, na seção de atuação da força, enrijecedores transversais de ambos os lados da alma (ver 5.7.9).

Adotaremos por questões de fabricação (soldagem) a espessura de $\frac{1}{4}'' = 6,35\text{mm}$

Verificação da necessidade de enrijecedores para o esforço localizado de Compressão

Esforço Resistente de cálculo da alma comprimida

$$F_{Rd} = 0,66 \cdot \frac{t_w^2}{1,1} \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{l}{d} \right) \cdot \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_y \cdot t_f}{t_w}}$$

$$F_{Rd} = 0,66 \cdot \frac{0,58^2}{1,1} \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{1,1}{15,2} \right) \cdot \left(\frac{0,58}{0,66} \right)^{1,5} \right] \cdot \sqrt{\frac{20500 \cdot 34 \cdot 5,066}{0,58}}$$

$$F_{Rd} = 0,20 * 1,178 * 897,10 = 213,30 \text{ kN} > 91,76 \text{ kN}$$

Não há necessidade de enrijecedores para essa verificação

5.7.4 Enrugamento da alma

5.7.4.1 A alma de uma barra, solicitada por compressão provocada por uma força localizada que atue na mesa, deve ser verificada para o estado-limite último de enrugamento.

5.7.4.2 A menos do disposto em 5.7.4.3, a força atuante de cálculo não pode superar a força resistente de cálculo da alma da barra, dada por:

a) quando a força de compressão está a uma distância da extremidade da barra maior ou igual à metade da altura da seção transversal:

$$F_{Rd} = \frac{0,66 t_w^2}{\gamma_{a1}} \left[1 + 3 \left(\frac{\ell_n}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}}$$

b) quando a força de compressão está a uma distância da extremidade da barra menor que a metade da altura da seção transversal:

$$\text{— para } \ell_n / d \leq 0,2: F_{Rd} = \frac{0,33 t_w^2}{\gamma_{a1}} \left[1 + 3 \left(\frac{\ell_n}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}}$$

$$\text{— para } \ell_n / d > 0,2: F_{Rd} = \frac{0,33 t_w^2}{\gamma_{a1}} \left[1 + \left(\frac{4 \ell_n}{d} - 0,2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}}$$

onde:

d é a altura da seção transversal da barra;

t_f é a espessura da mesa carregada;

ℓ_n é o comprimento de atuação da força na direção longitudinal da viga.

Verificação da necessidade de enrijecedores para o esforço localizado de Compressão

Esforço Resistente de cálculo – Flambagem da Alma

$$F_{Rd} = \frac{24 \cdot T_w^3 \sqrt{E \cdot F_y}}{1,1 \cdot h} = \frac{24 \cdot 0,58^3 \sqrt{20500 \cdot 34,5}}{1,1 \cdot 11,9} = 300,84 \text{ kN} > 91,76 \text{ kN}$$

Essa verificação não exigiu Enrijecedor

5.7.6 Flambagem da alma por compressão

5.7.6.1 A alma de uma barra, solicitada por compressão provocada por um par de forças localizadas de sentidos opostos, atuando em ambas as mesas da mesma seção transversal, deve ser verificada para o estado-limite último de flambagem por compressão.

5.7.6.2 A menos do disposto em 5.7.6.4, a força solicitante de cálculo (valor de cada força do par) não pode superar a força resistente de cálculo da alma da barra, dada por:

$$F_{Rd} = \frac{24 t_w^3 \sqrt{E f_y}}{\gamma_{al} h}$$

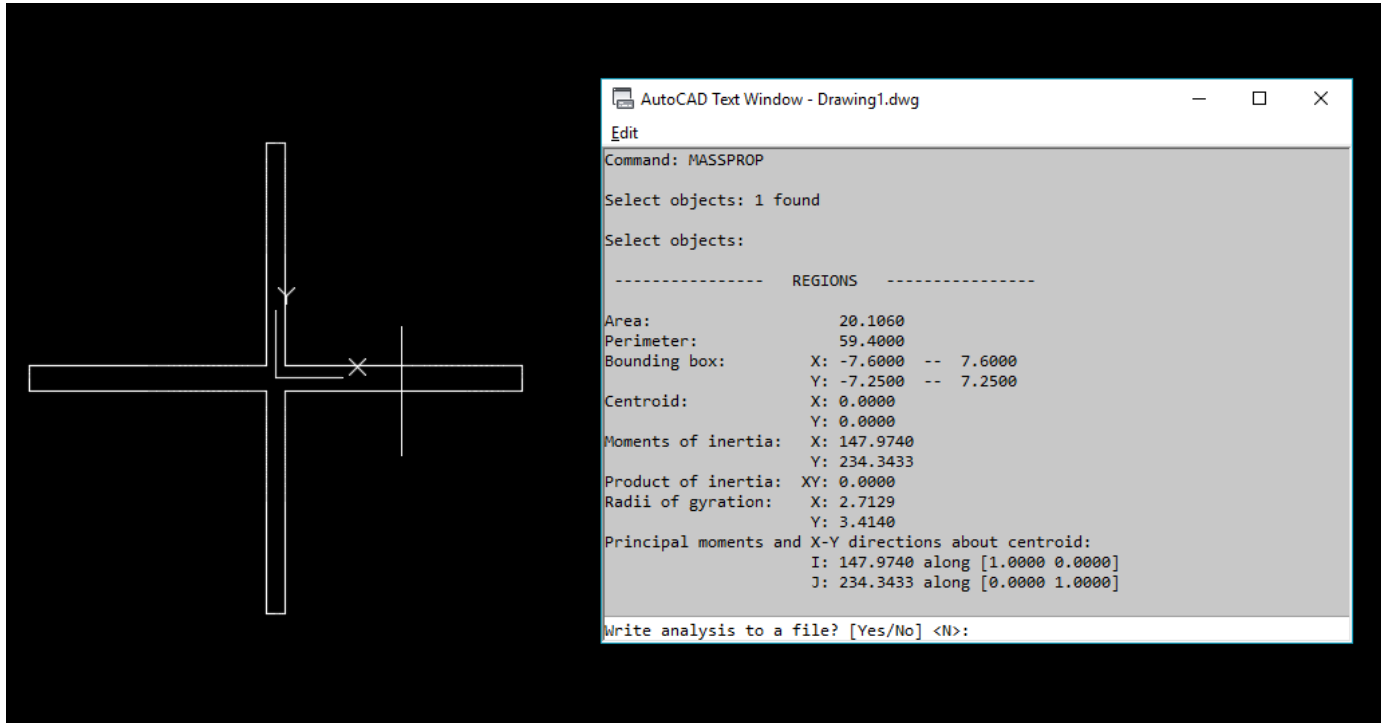
5.7.6.3 Quando o par de forças concentradas se encontra a uma distância da extremidade da viga menor que metade da altura da seção transversal, a força resistente dada em 5.7.6.2 deve ser reduzida à metade.

5.7.6.4 Se a força solicitante de cálculo superar a força resistente de cálculo, deve ser colocado, na seção de atuação dessa força, um enrijecedor transversal de um dos lados da alma ou devem ser colocados enrijecedores transversais de ambos os lados da alma (ver 5.7.9).

Verificação da necessidade de enrijecedores para suportar o esforço localizado de compressão na mesa do pilar

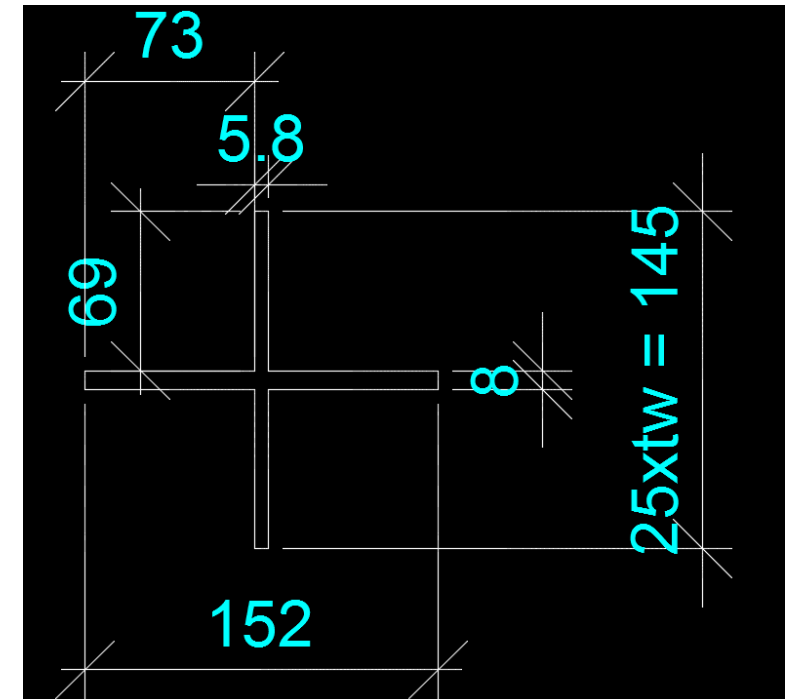
$$I = \sum (I_i + A_i \cdot d^2)$$

$$I = 2 \cdot \left(\frac{14,5 \cdot \left(\frac{0,58}{2}\right)^3}{12} + \left(14,5 \cdot \frac{0,58}{2}\right) \cdot \left(\frac{0,58}{2}\right)^2 + \frac{0,8 \cdot 7,3^3}{12} + (7,3 \cdot 0,8) \cdot \left(0,58/2 + \frac{7,3}{2}\right)^2 \right) = 234 \text{ cm}^4$$



5.7.9.3 Enrijecedores transversais necessários para resistir a forças localizadas que produzam compressão na alma, para os estados-limites últimos de flambagem lateral da alma (ver 5.7.5) e flambagem da alma por compressão (ver 5.7.6), devem ser dimensionados de acordo com 5.7.9.4. Esses enrijecedores devem se estender por toda a altura da alma, ter suas extremidades ajustadas para estar em perfeito contato com a(s) mesa(s) carregada(s) ou ser soldados a esta(s) mesa(s) e ser soldados à alma e à mesa oposta. A solda entre o enrijecedor e a(s) mesa(s) carregada(s), caso exista, deve ser capaz de suportar a diferença entre a força solicitante e a força resistente de cálculo, para o estado-limite em consideração. A solda entre o enrijecedor e a alma deve ser capaz de transferir para a alma essa diferença. No caso de enrijecedores com extremidades ajustadas junto à(s) mesa(s) carregada(s), deve ser verificado o estado-limite de esmagamento local, conforme 6.6.2, utilizando-se uma área de contato A igual à área da seção dos enrijecedores ligada à mesa, descontando-se os recortes que porventura existam.

5.7.9.4 Os enrijecedores transversais usados para impedir a ocorrência dos estados-limites últimos citados em 5.7.9.3 devem ser dimensionados como barras comprimidas, de acordo com 5.3, para o estado-limite último de instabilidade por flexão em relação a um eixo no plano médio da alma. A seção transversal a ser considerada é formada pelos enrijecedores mais uma faixa de alma de largura igual a $12t_w$, se os enrijecedores forem de extremidade, e igual a $25t_w$, se estiverem em uma seção interna. O comprimento de flambagem deve ser tomado igual a $0,75h$.



Verificação da necessidade de enrijecedores para suportar o esforço localizado de compressão na mesa do pilar

$$\frac{b}{t} = \frac{7,3}{0,8} = 9,12 \qquad \frac{b}{t}Lim = 0,56 \sqrt{\frac{E}{fy}} \rightarrow \frac{b}{t}Lim = 0,56 \sqrt{\frac{20500}{25}} = 16,03 \quad OK, Q = 1,0$$

$$Ney = \frac{\pi^2.E.Iy}{(kx.Lx)^2} = \frac{\pi^2.20500.234}{(0,75.11,9)^2} = 594364 \text{ kN}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Q.Ag.Fy}{Ne}} = \sqrt{\frac{1 * 20,1 * 25}{594364}} = 0,029$$

$$Nc,Rd = \frac{Q.\chi.Fy.Ag}{1,1} = \frac{1 * 1 * 25 * 20,1}{1,1} = 456,81 > 91,76kN$$

Tabela 4 — Valor de χ em função do índice de esbeltez λ₀

λ ₀	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ ₀
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0