

Capítulo 4 Suportes e restrições de tubulação

Neste capítulo são discutidos os tipos de dispositivos normalmente usados para sustentação e orientação de sistemas de tubulação, conhecidos como suportes e restrições, respectivamente.

4.1 Conceitos gerais

Tubulações industriais necessitam de aparatos que as sustentem estavelmente em suas posições, que sejam capazes de absorver ou transmitir as reações provenientes de dilatação térmica de si mesmas e dos equipamentos a elas conectados, assim como restringir ou guiar seus movimentos e também absorver ou controlar vibrações.

O alto custo da suportação do sistema de tubulações por si são j a evidencia a importância de um estudo cuidadoso da disposição e seleção dos suportes.

Os principais critérios que regem a seleção desses dispositivos são a função a que se destinam, a magnitude da carga que deverão absorver e as limitações referentes ao espaço disponível e   posição. Outros fatores têm influência, tais como:

- **Temperatura de projeto.** Deve-se considerar que as propriedades mecânicas dos materiais empregados na confecção dos suportes e restrições podem degradar em altas temperaturas de operação.
- **Expansão térmica.** Temperaturas elevadas de projeto têm significado movimentos relativamente grandes de trechos da tubulação, provenientes da expansão térmica. Portanto, isto influenciar  o tamanho das placas de apoio dos suportes móveis e o tipo de atrito e desgaste que elas enfrentarão.
- **Isolamento térmico.** A temperatura de operação do sistema pode exigir que o tubo seja isolado termicamente para evitar perdas de energia. O suporte do sistema deve ser capaz de acomodar este isolamento. Portanto, a espessura necessária de isolamento deve estar definida antes da definição dos suportes.
- **Compatibilidade entre os materiais do suporte e do tubo.** O tubo e o suporte estarão em contato permanentemente. Os materiais deverão ser compatíveis para que se evite aço de redução galvânica. Em alguns casos será necessária a inserção de materiais inertes, tais como mantas de borracha ou plástico, entre o tubo e o suporte.

- **Severidade do meio.** O potencial agressivo do meio de serviço circundante deve ser levado em consideração na escolha dos materiais da estrutura do suporte ou da restrição.
- **Inspeções.** Os suportes e restrições deverão ser inspecionados periodicamente. Estruturas, tipos de material e acabamento que possam requerer longos períodos de tempo entre inspeções são preferíveis sempre que possível.

4.2 Classificação

De uma maneira geral, podem ser agrupados em duas classes principais: **suportes rígidos e suportes não-rígidos.**

Tabela de classificações de suportes

Suportes rígidos	Suportes não-rígidos
Suportes de atrito Sempre deve ser evitado que a tubulação seja apoiada diretamente sobre concreto, para evitar a corrosão acelerada do tubo no ponto de contato.	Suportes de ação constante: molas de carga constante e contrapesos.
Restrições: Guias, Trava e, Ancoragens	Suportes de ação variável: molas de carga variável
Pendurais	Suportes amortecedores

1. **Suportes rígidos** são aqueles projetados de modo a restringir ou impedir ao menos um determinado tipo de movimento de translação ou rotação. Os suportes são denominados de acordo com o tipo de limite imposto à tubulação:

- **Suportes de atrito:** impedem o movimento da tubulação no sentido vertical descendente. São os apoios naturais, sapatas, pedestais e os suportes de rolamento.
- **Restrições:** dispositivos cuja função é impedir, restringir ou orientar movimentos da tubulação, sejam estes de translação ou de rotação, em pelo menos um sentido em uma determinada direção. São as guias, travas e as ancoragens.
- **Pendurais:** são suportes pelos quais a tubulação é sustentada por uma estrutura mais elevada, construídos de modo a permitir pequenos movimentos dos tubos.

2. Suportes não-rígidos: são aqueles que limitam os movimentos da tubulação através da aplicação de forças a esta. Os suportes não-rígidos podem ser agrupados de acordo com o tipo de atuação:

- **Suportes de ação constante:** são aqueles projetados de modo a aplicar uma força constante à tubulação e assim limitar este deslocamento, independentemente de quanto ela esteja se deslocando dentro de uma faixa determinada. Estes suportes são as molas de carga constante e os contrapesos.
- **Suportes de ação variável:** são aqueles projetados de modo a aplicar uma força que varie de acordo com o deslocamento da tubulação. Normalmente são molas comprimidas (molas de carga variável).
- **Suportes amortecedores:** são aqueles projetados de modo a absorver vibrações da tubulação. Similares aos amortecedores automotivos, têm como função principal absorver vibrações de grande amplitude e baixa frequência. Interessante observar que juntas de expansão também podem ser utilizadas para impedir a transmissão de vibrações ao longo da linha.

Note que nenhuma classificação ou denominação dos suportes ou restrições pode ser considerada absoluta. Na prática, é possível aplicar diferentes dispositivos em um mesmo ponto, dependendo necessidade e caso.

4.3 Elementos construtivos e acessórios

- **Grampos/Braçadeiras (Clamps/U-bolts)**

O elemento é mais facilmente encontrável na imensa maioria dos sistemas de tubulações, devido seu baixo custo e à sua versatilidade. O grampo pode prover efetiva atuação como restrição, muito embora sua fragilidade restrinja sua aplicação às linhas (ou aos pontos destas) nas quais não se esperam movimentos térmicos significativos.

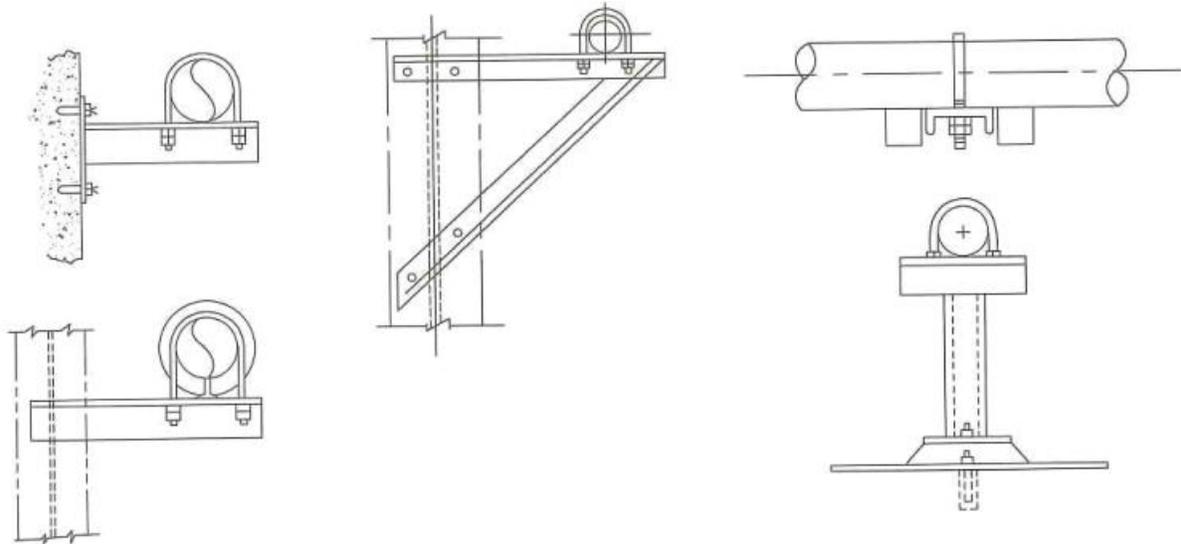


Figura 4-14 Exemplos típicos de grampos e aplicações.

➤ **Gaiolas (Pipe straps)**

Os pipe straps são empregados como guias nos casos em que a movimentação das linhas desaconselha o uso de grampos. O strap tem o mesmo formato de um grampo, porém é constituído de uma barra chata conformada adequadamente. O strap, quando soldado ao suporte, pode oferecer grande resistência a cargas laterais.

Importante observar que o emprego de braçadeiras ou grampos como ancoragem, uma prática muito comum para linhas de pequeno diâmetro, deve ser evitado sempre que possível, ou, pelo menos, restrito a linhas isentas de movimentos térmicos. Isto porque estes elementos necessitam cingir o tubo com muita firmeza para poderem impedir movimentos, o que necessariamente implica induzir tensões localizadas ao tubo.

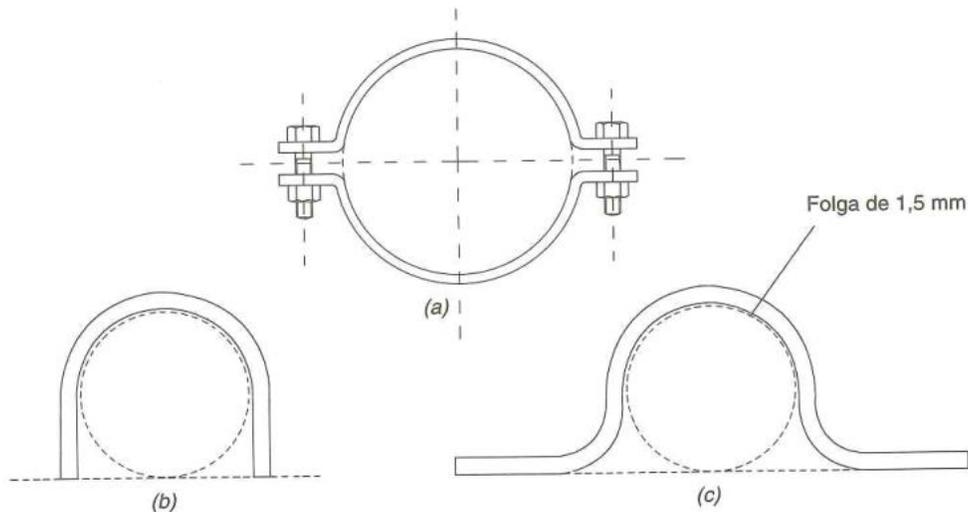


Figura 4-15 Braçadeiras. Exemplos típicos de *clamps* (a) e *straps* (b e c).

➤ Placas de base (*Baseplates*)

Placas fixadas a uma superfície são, muitas vezes, os elementos utilizados para fixação ou locação de diversos tipos de suportes, tais como pedestais, pendurais, amortecedores, molas, sapatas, etc.

As placas fixadas a superfícies de concreto, horizontais ou não, são normalmente chamadas de placas de base, podendo ser ancoradas ao concreto por meio de parafusos do tipo **bucha metálica** (*anchor bolts*), ou por meio de **chumbadores** (*studs*) soldados a placa. Os anchor bolts são normalmente empregados nos casos em que o concreto já está feito, enquanto o emprego de chumbadores deve ser especificado antes da confecção de concreto.

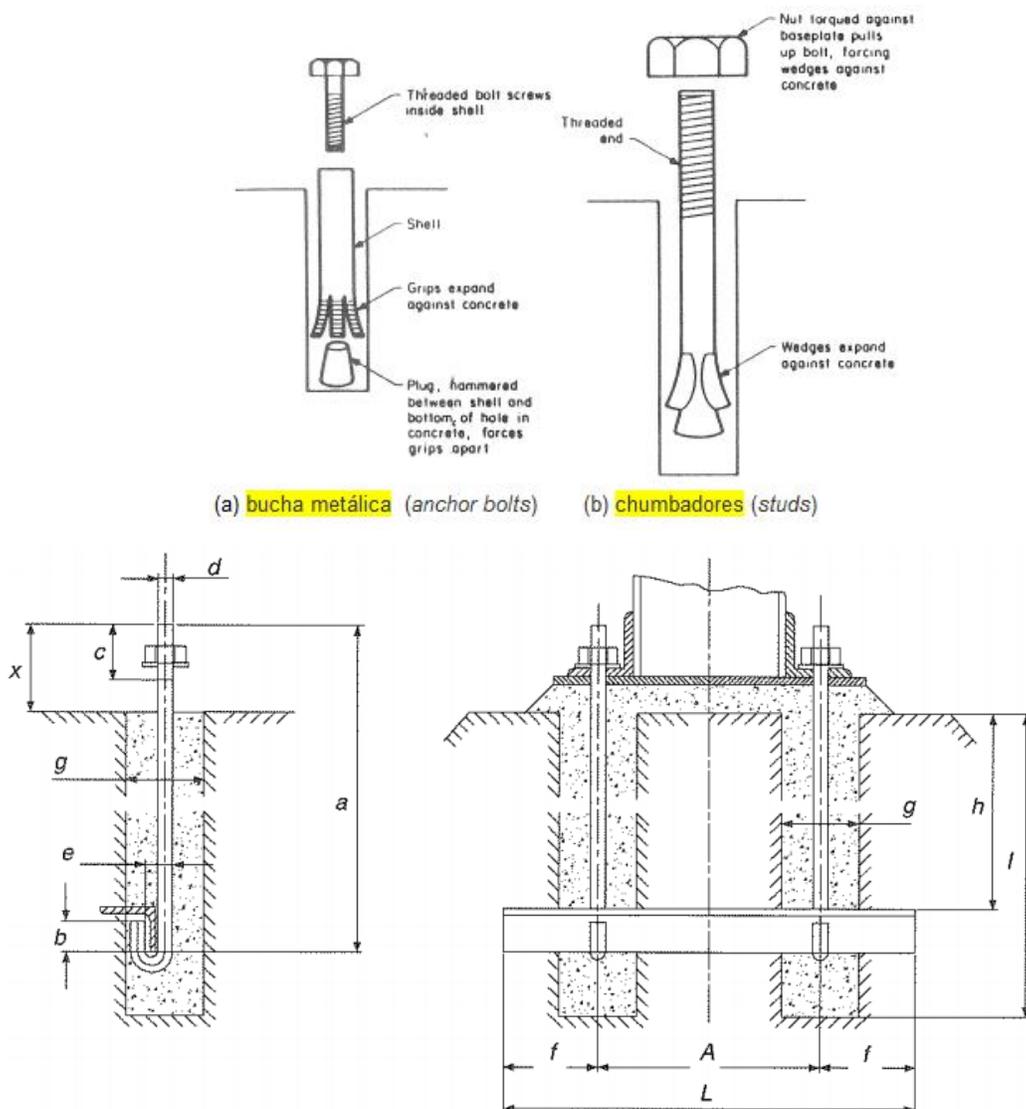


Figura 4-18 Fixação de placas por chumbadores para aplicações leves.

O tamanho e a espessura da placa de base são determinados em função de diversos fatores, tais como carga aplicada, distância mínima entre os fixadores (parafusos ou chumbadores), tipo de fixadores, espaço disponível, etc.

Geralmente placas de base fixadas por anchor bolts são consideradas elementos adicionados a uma fundação de concreto e portanto admitidas como de responsabilidade do engenheiro de tubulação, enquanto as fixadas por meio de chumbadores soldados e inseridos no concreto são consideradas elementos pertencentes à fundação, sendo então de responsabilidade da Engenharia Civil.

➤ **Elementos fixados ao tubo (*Ears-lugs-trunnions*)**

A Figura 4-19 ilustra alguns exemplos típicos. Muitas vezes, determinada restrição ou suporte somente pode ser efetivo contra um certo movimento se o elemento restritivo ou suportante estiver furado ao tubo por meio de solda. Isto é particularmente real em se tratando de movimentos torcionais ou mesmo axiais. Devido aos inconvenientes de se soldar diretamente qualquer elemento a uma tubulação (descritos na seção Restrições), procura-se evitar sempre que possível esta prática, adotando e somente quando absolutamente necessária.

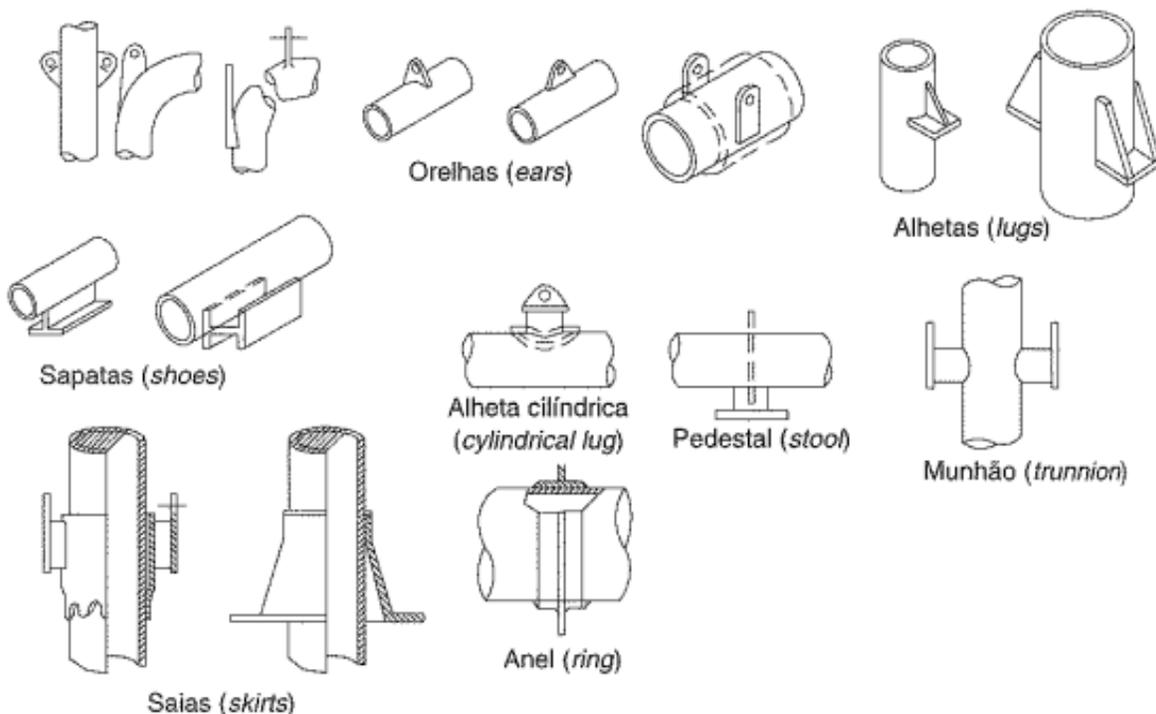


Figura 4-19 Alguns exemplos típicos de elementos fixados à tubulação.

O roteiro de cálculo para a determinação de todas as dimensões de um elemento como os ilustrados na Figura 4-19 varia muito em função de como a carga é aplicada a este elemento, e das características do tubo. Uma regra prática e segura, embora conservativa, para o dimensionamento: observem Caderno de Padrões de Suportes (Capítulo 2, Conceitos Básicos) as espessuras indicadas para as placas que compõem as guias e sapatas correspondentes para o diâmetro do tubo. **A espessura das placas de aço a serem usadas deverá ser no mínimo igual à mais espessa delas.**

4.4 Suportes diversos

➤ Suportes estruturais

Suportes estruturais são os elementos utilizados para oferecer apoio a tubos quando existe possibilidade de se aproveitar um elemento já existente que esteja próximo o bastante e cuja resistência seja compatível com os esforços que lhe serão transmitidos. A Figura 4-20 ilustra um dos tipos mais comuns. A prática de se apoiar um tubo de pequeno diâmetro em um tubo de grande diâmetro que esteja próximo é muito comum, por ser uma solução muito econômica. Um cuidado a ser tomado é evitar esta prática em tubos de grande diâmetro sujeitos a cargas dinâmicas, movimentos térmicos ou grandes pressões internas.

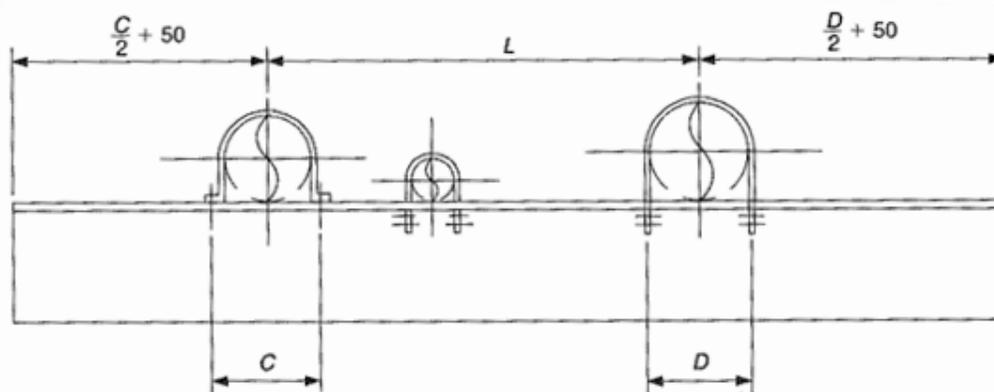


Figura 4-20 Tubo oferecendo apoio a outro, por meio de um suporte estrutural. Dimensões em mm.

➤ Pedestais estruturais (*Single or multiple pipe restraint frames*)

Quando tubos devem ser suportados, porém não se encontram perto de estruturas tais como *pipe ways*, *pipe racks* ou qualquer outra, a solução é conceder apoio por meio de elementos conhecidos como pedestais estruturais (ver Figura 4-21). Essas estruturas

podem simplesmente apoiar uma única linha (single pipe restraint frame) ou várias delas (multiple pipe restraint frame). Este último tipo é uma proposta econômica de apoio simultâneo para um pequeno número de linhas. Isto é particularmente atraente devido ao fato de ser aconselhável que tubos de mesma classe ou critério de projeto permaneçam próximos sempre que possível, mesmo fora do pipe way. Um cuidado importante é que a disposição das linhas sobre um pedestal estrutural seja atentamente estudada para que se evitem desbalanceamentos. Por esta razão, sempre que economicamente viável, deve-se optar por pedestais estruturais biapoiados.

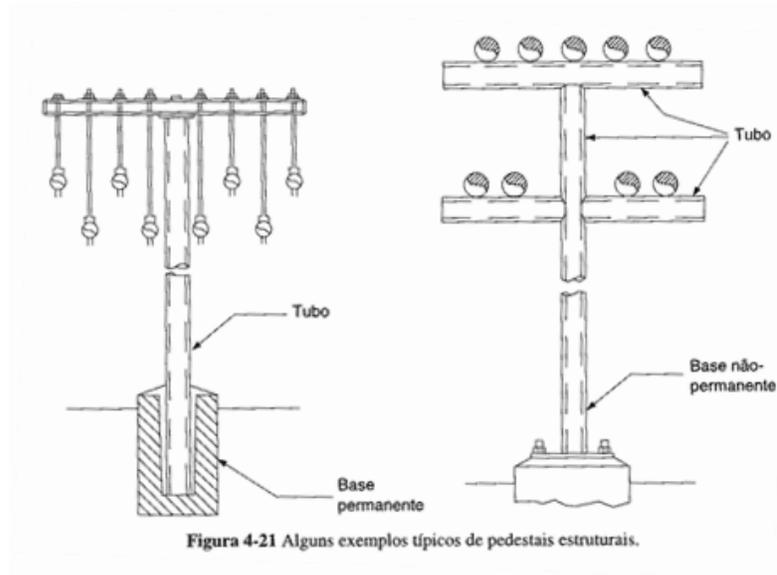


Figura 4-21 Alguns exemplos típicos de pedestais estruturais.

4.5 Determinação do vão básico entre suportes

A primeira etapa consiste em determinar o **vão básico**, ou distância ideal entre suportes, para cada diâmetro de tubo do sistema.

O vão básico entre suportes, para linhas horizontais, é definido em função dos seguintes fatores:

1. Tensão: Existe necessidade de se manter a tensão dentro dos limites aceitáveis. A deformação de um tubo pode originar tensões elevadas, e isto é particularmente crítico no caso de tubos de grande diâmetro com pequena espessura de parede.
2. Deflexão do tubo: A tendência natural de um tubo apoiado em suas extremidades (% de fletir sob a ação da gravidade. Essa deformação deve ser mantida abaixo de determinados valores) em razão de:

✓ *evitar a ocorrência de bolsões ou pontos de acúmulo de fluido;*

- ✓ evitar interferência ou contato com outras linhas ou equipamentos em áreas congestionadas;
- ✓ estética.

3. Freqüência natural: A definição correta do vão básico evita vibrações indesejáveis no sistema, por meio do controle da vibração natural.

O cálculo do vão máximo admissível entre os suportes de uma tubulação é feito considerando-se o tubo como sendo uma viga horizontal, sujeita aos vários pesos e sobrecargas que estejam atuando. Esse vão máximo será limitado por dois fatores:

- i. A tensão máxima de flexão, no ponto de maior momento fletor, deverá ser inferior a uma determinada tensão admissível.
- ii. A flecha máxima, no meio do vão, deverá também ser inferior a um determinado valor admissível.

Teoricamente, a tensão máxima e a flecha máxima dependerão muitos fatores. Na prática, pode-se, na maioria das vezes, simplificar o problema, assimilando o tubo a uma viga contínua, simplesmente apoiada em vários pontos sucessivos igualmente espaçados. Nesse caso, a tensão máxima de flexão corresponderá ao momento absoluto máximo; o valor aproximado dessa tensão pode ser tomado como sendo:

$$\sigma_f = \frac{L}{10Z} [wL + 2(Q + V)] \quad (4-13)$$

em que:

σ_f : tensão máxima de flexão (em N/m^2);

L : vão entre suportes (em m);

w : soma das cargas distribuídas (em N/m), que inclui o peso próprio do tubo e o peso do fluido contido, ou o peso da água de teste (o que for maior), e mais os seguintes pesos que existirem em cada caso: peso do isolamento térmico ou de qualquer outro revestimento interno ou externo, peso do sistema de aquecimento, peso de outras tubulações paralelas, de pequeno diâmetro, sustentadas pelo tubo;

Q : soma das cargas concentradas (em N) supostas no meio do vão, que inclui o peso de válvulas, outros acessórios e derivações não-suportadas existentes no trecho considerado.

V: sobrecarga aplicada no meio do vão (em N). Recomenda-se que seja considerada uma sobrecarga de 2000 N (≈ 200 kg) para todas as tubulações de aço de 3", ou maior, situadas a até 3,0 m de altura do solo;

Z: módulo de resistência da seção transversal do tubo (em m^3).

Pela (4-13), podemos obter

$$L_{m\acute{a}x} = \frac{\sqrt{(Q+V)^2 + 10wZ\sigma_{adm}} - (Q+V)}{w} \quad (4-14)$$

Quando só existirem cargas distribuídas, que é o caso mais freqüente, a fórmula (4-13) simplifica-se para:

$$\sigma_f = \frac{wL^2}{10Z}$$

que resulta em:

$$L_{m\acute{a}x} = \sqrt{\frac{10Z\sigma_{adm}}{w}} \quad (4-15)$$

Que é o vão máximo admissível.

O valor da tensão admissível σ_{adm} é a tensão máxima admissível (depende do material, da temperatura e da norma considerada - ver Anexo 7.3) no tubo.

Com relação à deflexão do tubo, esta deformação deve ser mantida abaixo de determinados valores, tal como já mencionado. Os valores de deflexão permitida variam conforme a área de serviço à qual se destina a tubulação. A prática recomenda limitar a deflexão, em unidades de processo, entre 13 e 25 mm (1/2 e 1 polegada), ou 1/4 do diâmetro nominal do tubo, o que for menor. Em linhas de utilidade (geração de vapor) operando a 400°C (750°F) ou mais, o limite recomendado é de apenas 2,5 mm (0,1 polegada).

Com relação à deflexão, o vão básico para tubos horizontais pode ser calculado pela equação no caso de um tubo apoiado simples nas duas extremidades:

$$L = \sqrt[4]{\frac{384EJy}{5w}} \quad (4-16)$$

ou no caso de um tubo fixado nas duas extremidades

$$L = \sqrt[4]{\frac{384EJy}{w}} \quad (4-17)$$

onde E é o módulo de elasticidade do material do tubo; J é o momento de inércia da seção do tubo; y é a deflexão admissível entre suportes. O valor real deve estar entre estas duas considerações (4-16) e (4-17).

Quanto ao controle da vibração, é admitido que valores de frequência natural na ordem de 4 Hz são plenamente satisfatórios para linhas não-conectadas a equipamentos geradores de vibrações, e 8 Hz (ou mais) para linhas conectadas a compressores, equipamentos rotativos ou outros geradores de vibrações. A frequência natural de uma linha com relação ao seu vão básico entre suportes pode ser determinada aproximadamente pela equação no caso de um tubo apoiado simples nas duas extremidades:

$$f_n = \frac{0,525}{L^2} \sqrt{\frac{2EJ}{w}} \quad (4-18)$$

ou no caso de um tubo fixado nas duas extremidades:

$$f_n = \frac{1,03}{L^2} \sqrt{\frac{8EJ}{3w}} \quad (4-19)$$

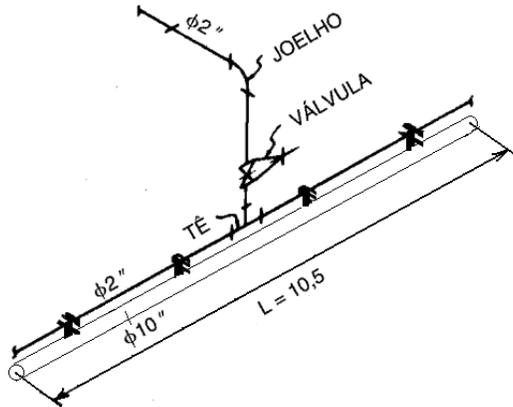
onde f_n é a frequência natural (primeiro modo) em Hz.

O valor real deve estar entre estas duas considerações. Entretanto, em termos práticos, admite-se que, se o vão livre da linha atende aos requisitos de deflexão máxima e de tensão máxima, atende também ao critério de controle da vibração.

Para simplificar o cálculo do vão básico entre suportes, existem Standards e Recommended Practices de diferentes fontes, indicando diretamente o vão básico recomendado para tubulações, para os diversos casos específicos de aplicação. O Anexo 9 reproduz algumas destas indicações e seus critérios.

EXEMPLO NUMÉRICO 1

Consideremos o sistema mostrado na figura abaixo, em que temos um tubo de 10" apoiado em suportes com um vão de 10,5 m, e um tubo de 2" (com uma derivação) apoiado em suportes intermediários presos ao tubo de 10". Vamos calcular a tensão causada pelos pesos no tubo de 10", e a tensão combinada longitudinal, de acordo com o critério da norma ASME B 31.



Os dados numéricos são os seguintes:

Peso do tubo de 10" cheio de água: 1110 N/m.

Peso do tubo de 2" cheio de água: 94 N/m.

Peso da derivação, válvula e conexões: $Q=3530$ N.

Sobrecarga adicional considerada: $V= 1000$ N.

Pressão interna (de projeto): $p=4.800$ kPa= 4,8 MPa.

Vão entre suportes: $L=10,5$ m.

Espessura da parede (série 40): $t=9,3$ mm (0,365 pol.).

Diâmetro externo (tubo 10"): $D=273$ mm (10,75 pol.).

Material: Aço-carbono API 5L Grau A tipo S.

Temperatura de projeto: 200°C.

Módulo de resistência (tubo 10"): $Z=490$ cm³= 490×10^{-6} m³.

Assimilando, para facilitar, o peso do tubo de 2" a uma carga distribuída, teremos para o valor da carga distribuída total:

$$w = 1110 + 94 = 1204 \text{ (N/m)}$$

Pela Anexo 7.3, obte-se:

$$\sigma_{adm} = 95,54 MPa$$

A7.3 TENSÕES ADMISSÍVEIS [MPa]

Materiais: Aços ao Carbono

Referência	Denominação ASTM ou API	Grau	Tipo
1	A-53 ou API 5L	-	BW
2		-	LW
3		A	ERW
4		B	
5		A	S
6		B	
7	A-83	A	S
8	A-106	A	S
9		B	
10	A-135	A	ERW
11		B	
12	A-155	C50	EFW
13		C55	
14		KC60	
15		KC65	
16		KC70	
17	A-333	O	S

em que BW, *butt welded* / solda de topo; LW, *lap welded* / solda de bordas sobrepostas; ERW, *electric resistance welded* / solda por resistência elétrica; EFW, *electric fusion welded* / solda elétrica por arco protegido; S, *seamless* / sem costura.

Materiais: Aços ao Carbono												
Temp. [°C]	1	2	3, 10	4 e 11	5	6, 9 e 14	7	8	12	13 e 17	15	16
200	54,00	67,47	81,32	101,43	95,54	119,44	95,54	95,54	100,05	109,75	129,49	139,54
210		66,88	80,57	100,49	94,67	118,32	94,67	94,67	99,08	108,70	128,28	138,21

O vão máximo entre os suportes segundo o critério de tensão deve ser:

$$L_{m\acute{a}x} = \frac{\sqrt{(3530N + 1000N)^2 + 10 \times 1204N / m \times 490 \times 10^{-6} m^3 \times 95,54 \times 10^6 N / m^2} - (3530N + 1000N)}{1204N / m} = 16,31m$$

Como $L = 10,5 m < L_{m\acute{a}x}$, o comprimento do vão está correto.

A tensão devida aos pesos será:

$$\sigma_f = \frac{L}{10Z} [wL + 2(Q + V)] = \frac{10,5m}{10 \times 490 \times 10^{-6} m^3} [1204 N/m \times 10,5m + 2(530N + 1000N)] = 33,6MPa$$

A norma ASME B 31 estabelece que a soma das tensões longitudinais devido aos pesos, pressão e outras cargas permanentes (exceto às tensões secundárias) não deve ultrapassar a tensão admissível do material na temperatura de projeto. Devemos no nosso caso ter então:

$$\sigma_L = \sigma_f + \sigma_p \leq \sigma_{adm}$$

onde σ_p é a tensão longitudinal provocada pela pressão, cujo valor é dado por

$$\sigma_p = \frac{pD}{4t} = \frac{4,8MPa \times 273mm}{4 \times 9,3mm} = 35,2MPa$$

Então

$$\sigma_L = \sigma_f + \sigma_p = 33,6MPa + 35,2MPa = 68,8MPa$$

Como $\sigma_L = \sigma_f + \sigma_p \leq \sigma_{adm} = 95,54MPa$, então o vão adotado entre os suportes está satisfatório **pelo critério de tensão**.

EXEMPLO NUMÉRICO 2

Calcular o vão máximo entre suportes para uma tubulação de água salgada com diâmetro externo de $D = 40''$ (1018 mm), construída de chapas de aço ASTM A 285 Gr.C, com espessura de $3/8''$ (9 mm). A tubulação tem um revestimento interno de concreto de 15 mm de espessura. Como não existem esforços de dilatação e a pressão é muito baixa, pode-se admitir uma tensão máxima devida aos pesos de $\sigma_{adm} = 100MPa$. A flecha máxima deve ser de 25 mm.

Temos os seguintes dados adicionais:

Peso do tubo vazio (sem o revestimento de concreto): 2365 N/m.

Peso específico do concreto: 20 N/dm³.

Módulo de elasticidade do aço: $E = 200$ GPa.

Momento de inércia da seção transversal: $J = 362000 \text{ cm}^4$.

Módulo de resistência do tubo: $Z = 7110 \text{ cm}^3$.

Solução:

Calculemos primeiro a carga distribuída total. A área livre de seção transversal do tubo pode ser obtida pela fórmula:

$$A = \frac{\pi [D - 2(t + 15)]^2}{4}$$

Como a densidade da água salgada é 1,03, ficará para o peso da água salgada:

$$\rho_a A_a = \frac{1,03 \times 10000 \text{ N}}{\text{m}^3} \times \frac{\pi}{4} [1,018 \text{ m} - 2(0,009 \text{ m} + 0,015 \text{ m})]^2 = 7611 \text{ N/m}.$$

Calculando o peso da camada de concreto com 15 mm de espessura encontra-se:

$$\rho_c A_c = \frac{20 \text{ N}}{(0,1 \text{ m})^3} \times \pi \times (1,018 \text{ m} - 2 \times 0,009 \text{ m} - 0,015 \text{ m}) \times 0,015 \text{ m} = 928 \text{ N/m}.$$

Teremos então a carga distribuída total:

$$\begin{aligned} w &= \text{peso do tubo} + \text{peso do revestimento} + \text{peso da água salgada} \\ &= 2365 + 928 + 7611 = 10904 \text{ (N/m)} \end{aligned}$$

Considerando apenas as cargas distribuídas, o vão máximo admissível, em função da tensão, será dado pela fórmula (4-15):

$$L = \sqrt{\frac{10Z\sigma_{adm}}{w}} = \sqrt{\frac{10 \times 7110 \times (10^{-2} \text{ m})^3 \times 100 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{10904 \text{ N/m}}} = 25,53 \text{ m}$$

Verifiquemos agora o vão pela flecha máxima:

$$L = \sqrt[4]{\frac{384EJy}{5w}} = \sqrt[4]{\frac{384 \times 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \times 362000 \times (10^{-2} \text{ m})^4 \times 0,025 \text{ m}}{5 \times 10904 \text{ N/m}}} \approx 18,9 \text{ m}$$

O vão máximo a adotar será portanto esse último valor, ou seja, $L = 18,9 \text{ m}$.

QUESTÕES

3. Quais são vantagens pelo emprego de suportes rígidos? Em quais casos o uso de suportes rígidos não é recomendado?
4. Quais são as restrições contribuídas por dispositivos Guia, Trava e Ancoragem respectivamente?
5. Guia, Trava e Ancoragem podem ser consideradas como suportes?
6. Por que o emprego de braçadeiras ou grampos como ancoragem deve ser evitado sempre que possível, ou, pelo menos, restrito a linhas isentas de movimentos térmicos.
7. Repita o cálculo do EXEMPLO NUMÉRICO 1 com o tubo de 8" Sch 40 (veja o ANEXO 2). Verifique se o vão está correto em termos de comprimento e tensão admissível.
8. Calcular o vão máximo entre suportes para uma tubulação de água salgada (densidade $\rho_a = 1,03$), usando o tubo de 36" Sch 40 (veja o ANEXO 2) e a flecha máxima 20 mm. A tubulação tem um revestimento interno de concreto de 12 mm de espessura. Os dados adicionais são:
 - Material: Aço-carbono ASTM A-135 Grau B (veja ANEXO A7.3).
 - Módulo de elasticidade do aço: $E = 200$ GPa.
 - Temperatura de projeto: 100°C .
 - Peso específico do concreto: 20 N/dm³.

Obs. Por enquanto, não considere o efeito de dilatação térmica.