Esforços Máximos Admissíveis em Bocais de Equipamentos ligados às Tubulações

1. Escopo

Fornecer os critérios de determinação dos esforços ou cargas externos máximos de tubulação, permitidos sobre bocais de equipamentos, quando essas cargas não são fornecidas pelo Fabricante:

- Vasos de pressão, incluindo torres ou colunas, reatores, permutadores ou trocadores de calor, esferas, filtros, secadores; resfriadores a ar;
- Máquinas como bombas, compressores e turbinas,
- Válvulas de grande porte.

2. Normas de referência

2.1. Esforços máximos em máquinas

- API STD 610 Centrifugal pumps, for petroleum, petrochemical and natural gas industries
- API STD 611 General Purpose Steam Turbines for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services
- API STD 612 Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries— Steam Turbines-Special-Purpose Applications
- API STD 617 Axial and Centrifugal Compressors and Expandercompressors
- NEMA SM 23 Steam Turbines for Mechanical Drive Service

2,2. Esforços máximos em vasos de pressão e outros equipamentos de caldeiraria

- The Welding Research Council Bulletins
    - WRC 107 Local Stresses In Spherical And Cylindrical Shells Due To External Loadings
    - WRC 297 Local Stresses In Cylindrical Shells Due To External Loadings On Nozzles
    - WRC 537 Precision Equations and Enhanced Diagrams for Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells Due to External Loadings for Implementation of WRC Bulletin 107
- Boiler and Pressure Vessel Codes ASME Sec VIII
    - Div 1 Rule for construction of pressure vessels
    - Div 2 Alternative rules for construction of pressure vessels
    - Div 3 Alternative rules for construction of high pressure vessels

3. Esforços máximos admissíveis em bocais

Para os valores máximos admissíveis dos esforços, sobre os bocais dos equipamentos ligados às tubulações, deve ser adotado o seguinte critério:

3.1. Para bombas, turbinas e compressores cujo projeto e construção são conforme às normas API STD 610, 611, 612, 617 e NEMA SM 23, respectivamente:

- Valores máximos ou critérios admitidos pelas referidas normas.

3.2. Para bombas, turbinas, compressores e outros não cobertos pelas normas citadas em 3.1:

- Recomenda-se que sejam obtidos do fabricante da máquina os valores dos esforços máximos admissíveis sobre os bocais.
  Quando não for possível obter dados confiáveis, podem ser adotados como orientação os valores fornecidos pelas normas API citadas em 3.1.

3.3. Para vasos de pressão, torres, reatores, esferas, permutadores de calor, filtros, secadores, resfriadores a ar e demais equipamentos de caldeiraria e válvulas especiais:

- Devem ser verificadas as tensões atuantes no bocal junto à junção ao corpo, pescoço e flange, através de métodos analíticos reconhecidos, como os das normas WRC 107 e WRC 297, ou pelo método dos elementos finitos de análise de tensões.
- A ligação flangeada do bocal deve ser verificada para o valor da pressão interna equivalente, considerando a pressão interna de projeto acrescida do efeito dos esforços externos. Por ligação flangeada entende-se a verificação do próprio flange, da junta de vedação e dos estojos.

Notas:

a) Os valores das tensões admissíveis devem ser os fornecidos pelo código de projeto do equipamento ASME Sec VIII Div 1 ou Div 2.
b) Em casos especiais devem ser solicitados os esforços máximos admissíveis do Fornecedor do equipamento.

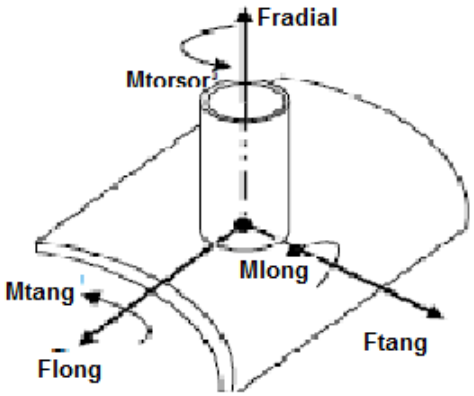
3.4. Sempre que expressamente autorizado pelo Proprietário, no caso em que o cálculo de flexibilidade da tubulação ainda não esteja disponível, no intuito de prosseguir com o projeto, as tabelas de esforços máximos, nas tabelas a seguir, são aplicáveis para as seguintes análises prévias:

- Execução da análise de tensões de junções dos bocais com o corpo do equipamento por meio do uso das referências WRC boletins WRC-107 e 297, como aplicável, ou por meio de Análise de Elementos Finitos (FEA);
- Execução do cálculo de verificação da ligação flangeada, de acordo com os procedimentos do código de projeto, e verificação de possíveis vazamentos;
- Os esforços resultantes da análise de flexibilidade da tubulação devem ser inferiores aos informados nas tabelas.

3.5. Para a verificação da ligação flangeada é importante reavaliar a pressão de projeto do bocal, considerando o efeito de esforços externos, devidos à tubulação conectada.
A pressão interna equivalente de projeto deve ser calculada como a seguir.

- Esforços ou cargas externas consideradas:

M = momento fletor externo aplicado na seção do flange do bocal
F = força de tração axial externa aplicada na seção do flange do bocal
$M = [(Mtang^2+Mlong^2)]^{1/2}$
F = Fradial
Obs.: Os esforços Mtorsor, Flong, Ftang são desconsiderados.



- Pressão interna equivalente aos esforços externos:

P_{eq} = pressão equivalente aos esforços sobre o bocal

$$\mathbf{P_{eq} = \frac{16.M}{\pi G^3} + \frac{4.F}{\pi G^2}}$$

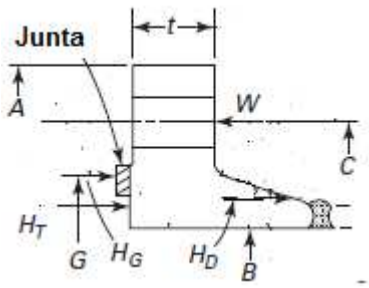
- Pressão interna equivalente de projeto

P_{pr} = pressão de projeto a ser considerada para efeito de seleção ou dimensionamento do flange do bocal
P = pressão interna de projeto

$$\mathbf{P_{pr} = P + P_{eq}}$$

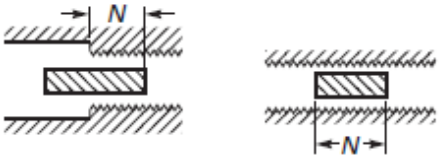
- **Caso de flanges não padronizados**

As expressões de cálculo das forças que agem na ligação flangeada devem ser adequadas, substituindo-se a pressão interna de projeto (P) pela pressão interna equivalente de projeto (P_{pr}).



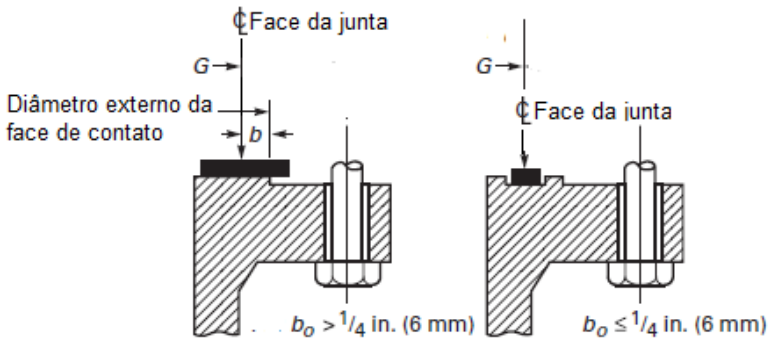
G = diâmetro no local da força de reação da junta de vedação
H = força hidrostática total = 0,785. G^2. P_{pr}
H_D = força hidrostática na área interna do flange = 0,785. B^2. P_{pr}
H_G = força de reação da junta (diferença entre a força devido aos estojos e a força hidrostática total) = W−H
Hp = força total de compressão na superfície de contato da junta = 2.b.(3,14.G.m. P_{pr})
H_T = diferença entre a força hidrostática total e a força hidrostática na área interna do flange = H−H_D
W = força devido aos estojos nas condições:

- Operação Wm1 = H + Hp = 0,785.G^2. P_{pr} + 2.b.(3,14.G.m. P_{pr})
- Assentamento da junta Wm2 = 3,14.b.G.y

N = largura (conforme a figura abaixo) usada para determinar a largura básica de assentamento da junta b_o, com base na largura de contato possível da junta	b_o = largura básica de assentamento da junta	G = diâmetro no local da força de reação da junta de vedação	
Face dos flanges (1b) 	$\frac{N}{2}$	Quando *bo* > 1⁄4 in. (6 mm), Diâmetro externo da face de contato da junta menos 2b	Quando *bo* ≤ 1⁄4 in. (6 mm), Diâmetro médio da face de contato da junta

Nota: Onde as serrilhas não excedem 1/64 in de profundidade (0,4 mm) e 1/32 pol (0,8 mm) de espaçamento largura, devem ser utilizado o desenhos (1b).

b = largura efetiva de assentamento da junta
b = bo, quando bo ≤ 1⁄4 in. (6 mm);
b = $C_b\sqrt{b_o}$, quando bo > 1⁄4 in. (6 mm)
Cb = fator de conversão = 0,5 para Unidades Inglesas e 2,5 para Unidades SI



- **Caso de flanges padronizados**

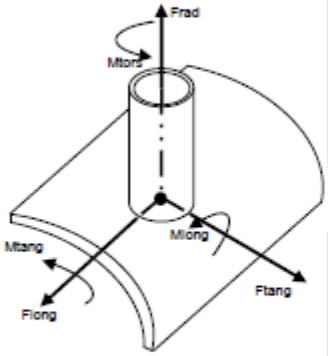
Os flanges de aço são padronizados, através do material e do par pressão & temperatura, nas tabelas de classes de pressão das normas:

- ASME B16.5 Pipe Flanges and Flanged Fittings NPS 1⁄2 Through NPS 24
- ASME B16.47 Large Diameter Steel Flanges: NPS 26 Through NPS 60 Metric/Inch Standard

Usar o valor da pressão equivalente de projeto P_{pr} , a temperatura de projeto e o material construtivo, para enquadrar na classe de pressão conveniente.

4. Tabelas de esforços externos máximos, em bocais de vasos de pressão, a serem considerados na ausência de dados de fabricante

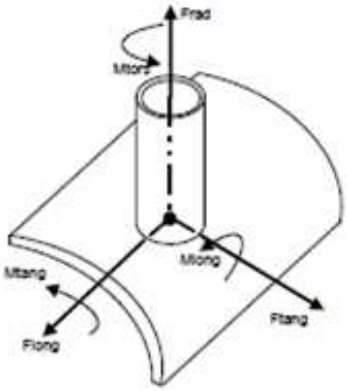
Os esforços externos constantes das tabelas correspondem à classe ou “rating” do flange do bocal do equipamento.
Eles devem ser considerados aplicados no bocal do equipamento.
Nas verificações do bocal, além dos esforços externos, deve ser levada em conta a força de empuxo no bocal devido à pressão interna ou externa.



Rating 150#						
Nominal Diameter	Frad (N)	Flong (N)	Ftang (N)	Mtors (N.m)	Mtang (N.m)	Mlong (N.m)
2"	2280	1710	1710	342	228	228
3"	3420	2565	2565	770	513	513
4"	4560	3420	3420	1368	912	912
6"	6840	5130	5130	3078	2052	2052
8"	9120	6840	6840	5472	3648	3648
10"	11400	8550	8550	8550	5700	5700
12"	13680	10260	10260	12312	8208	8208
14"	15960	11970	11970	16758	11172	11172
16"	18240	13680	13680	21888	14592	14592
18"	20520	15390	15390	27702	18468	18468
20"	22800	17100	17100	34200	22800	22800
24"	27360	20520	20520	49248	32832	32832

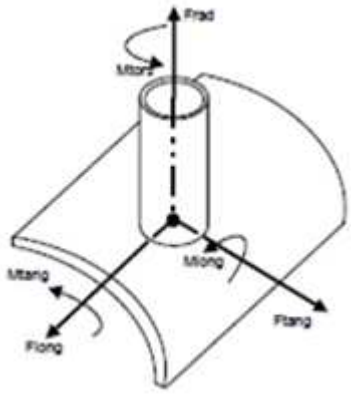
Rating 300#						
Nominal Diameter	Frad (N)	Flong (N)	Ftang (N)	Mtors (N.m)	Mtang (N.m)	Mlong (N.m)
2"	2660	1995	1995	399	266	266
3"	3990	2993	2993	898	599	599
4"	5320	3990	3990	1596	1064	1064
6"	7980	5985	5985	3591	2394	2394
8"	10640	7980	7980	6384	4256	4256
10"	13300	9975	9975	9975	6650	6650
12"	15960	11970	11970	14364	9576	9576
14"	18620	13965	13965	19551	13034	13034
16"	21280	15960	15960	25536	17024	17024
18"	23940	17955	17955	32319	21546	21546
20"	26600	19950	19950	39900	26600	26600
24"	31920	23940	23940	57456	38304	38304

Rating 600#						
Nominal Diameter	Frad (N)	Flong (N)	Ftang (N)	Mtors (N.m)	Mtang (N.m)	Mlong (N.m)
2"	3040	2280	2280	456	304	304
3"	4560	3420	3420	1026	684	684
4"	6080	4560	4560	1824	1216	1216
6"	9120	6840	6840	4104	2736	2736
8"	12160	9120	9120	7296	4864	4864
10"	15200	11400	11400	11400	7600	7600
12"	18240	13680	13680	16416	10944	10944
14"	21280	15960	15960	22344	14896	14896
16"	24320	18240	18240	29184	19456	19456
18"	27360	20520	20520	36936	24624	24624
20"	30400	22800	22800	45600	30400	30400
24"	36480	27360	27360	65664	43776	43776



Rating 900#						
Nominal Diameter	Frad (N)	Flong (N)	Ftang (N)	Mtors (N.m)	Mtang (N.m)	Mlong (N.m)
2"	4940	3705	3705	741	494	494
3"	7410	5558	5558	1667	1112	1112
4"	9880	7410	7410	2964	1976	1976
6"	14820	11115	11115	6669	4446	4446
8"	19760	14820	14820	11856	7904	7904
10"	24700	18525	18525	18525	12350	12350
12"	29640	22230	22230	26676	17784	17784
14"	34580	25935	25935	36309	24206	24206
16"	39520	29640	29640	47424	31616	31616
18"	44460	33345	33345	60021	40014	40014
20"	49400	37050	37050	74100	49400	49400
24"	59280	44460	44460	106704	71136	71136

Rating 1500#						
Nominal Diameter	Frad (N)	Flong (N)	Ftang (N)	Mtors (N.m)	Mtang (N.m)	Mlong (N.m)
2"	5700	4275	4275	855	570	570
3"	8550	6413	6413	1924	1283	1283
4"	11400	8550	8550	3420	2280	2280
6"	17100	12825	12825	7695	5130	5130
8"	22800	17100	17100	13680	9120	9120
10"	28500	21375	21375	21375	14250	14250
12"	34200	25650	25650	30780	20520	20520
14"	39900	29925	29925	41895	27930	27930
16"	45600	34200	34200	54720	36480	36480
18"	51300	38475	38475	69255	46170	46170
20"	57000	42750	42750	85500	57000	57000
24"	68400	51300	51300	123120	82080	82080



Rating 2500#						
Nominal Diameter	Frad (N)	Flong (N)	Ftang (N)	Mtors (N.m)	Mtang (N.m)	Mlong (N.m)
2"	6840	5130	5130	1026	684	684
3"	10260	7695	7695	2309	1539	1539
4"	13680	10260	10260	4104	2736	2736
6"	20520	15390	15390	9234	6156	6156
8"	27360	20520	20520	16416	10944	10944
10"	34200	25650	25650	25650	17100	17100
12"	41040	30780	30780	36936	24624	24624
14"	47880	35910	35910	50274	33516	33516
16"	54720	41040	41040	65664	43776	43776
18"	61560	46170	46170	83106	55404	55404
20"	68400	51300	51300	102600	68400	68400
24"	82080	61560	61560	147744	98496	98496