ISSN: 2594-6153

Projeto de um Tampo Torisférico para um Vaso de Pressão Sujeito a Processo de Corrosão Interna

Jose Jefferson Morais de Oliveira, João Luiz Lopes Freitas, Carlos Maranhão Piorski Junior, Denisson Gustavo da Cruz, Luiz Gustavo Bohler Lovatel, Aldo Ramos Santos

Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos – SP, Brasil
E-mail: jjmoliveira@petrobras.com.br

Resumo: O presente trabalho apresenta uma aplicação do método de cálculo para o dimensionamento de um tampo torisférico de um vaso de pressão, conforme o Código de Projeto ASME VIII. Uma vez que o fluído de trabalho considerado apresenta características corrosivas, a taxa de corrosão será considerada – além da perda de espessura devido a operação de conformação da chapa, para determinação segura da espessura mínima requerida para as condições de operação arbitrada.
Palavras chaves: Vaso de pressão, projeto, corrosão.

Design of a Torispherical Head for a Pressure Vessel Subject to Internal Corrosion Process

Abstract: This paper presents the application of a calculation method for the design of a torispherical head of a pressure vessel according to the ASME VIII Pressure Vessel Code. Since the operation fluid is considered to be corrosive due to its characteristics, the corrosion rate will be considered – in addition to the loss of thickness due to the sheet forming operation, for the safe determination of the minimum thickness required for the arbitrated operation conditions.
Keywords: Pressure vessel, design, corrosion.

Introdução

Vasos de pressão são importantes equipamentos de processo nas indústrias de processo. Neste trabalho, será considerado as etapas para o projeto mecânico da espessura mínima requerida (após conformação), para um de seus componentes: o tampo torisférico (ou *toro esférico*). Será considerado ainda que, o vaso em questão, opera com fluido corrosivo. Para tal, será calculada a sobre espessura de corrosão para o equipamento em função da taxa de corrosão encontrada. Por fim, será apresentado o desenho de projeto do tampo dimensionado.

Objetivos: Apresentar o método de cálculo proposto pela ASME VIII para o projeto de vasos de pressão, destacando a segurança do código na determinação da espessura mínima requerida.

Material e Métodos

Para o cálculo da espessura requerida para o tampo (e_p), em função das solicitações de pressão e temperatura de projeto, serão considerados os seguintes dados de projeto e operação: vaso de pressão horizontal; diâmetro externo do costado cilíndrico (D_e): 3.000 mm;

material de fabricação SA-516 Gr 60 [1]; Código Projeto: ASME Seção VIII – Divisão 1 [1]; Pressão de projeto: 13 kgf/cm²; Temperatura de projeto: 120 °C e tempo de vida útil (TVU) de 20 anos, com uma sobre espessura de corrosão remanescente de 20% (vinte por cento).

Para a determinação da sobre espessura de corrosão (C), considera-se o ensaio em corpo de prova de SA-516 Gr 60 [1], em formato de lâmina (50 mm x 100 mm x 3 mm) que, quando submetido ao meio corrosivo, resultou numa perda de massa de 4.500 mg para um tempo de exposição de 180 dias.

Ainda será considerado que, para o processo de conformação do tampo, a perda de espessura final (e_f), será de 2,0 mm [2].

Conforme código ASME VIII, para um tampo torisférico, a espessura (e_p), requerida para as condições de pressão e temperatura máxima previstas, pode ser calculada pela seguinte equação [1, 2]:

$$e_p = \frac{PLM}{2\,SE - 0{,}2P} \tag{1}$$

Sendo P a pressão de projeto (13 kgf/cm²), L o raio da coroa do tampo (L = 0,7 x D_e), o fator M = 1,25 (para a relação L/r = 4,0, onde r corresponde ao raio de rebordeamento) [2], S a tensão admissível (1202 kgf/cm²) [1] e E a eficiência de junta soldada (considerar soldagem por arco submerso e inspeção 100%, ou seja, E = 1,0) [2]. Portanto:

$$e_p = \frac{13\frac{kgf}{cm^2} \times 0{,}7 \times 3000\ mm \times 1{,}25}{2 \times 1202\frac{kgf}{cm^2} \times 1{,}0 - 0{,}2 \times 13\frac{kgf}{cm^2}} \tag{2}$$

Ou seja, e_p = 14,21 mm.

Para a determinação da sobre espessura de corrosão (C), a taxa de corrosão (TC), é calculada pelas seguintes equações [3]:

$$TC\ (mdd) = \frac{\Delta m(mg)}{A(dm) \times T(dias)} \tag{3}$$

$$TC\ (ipy) = \frac{t_c(mdd)}{696 \times \rho(g/cm^3)} \tag{4}$$

ISSN: 2594-6153

Sendo TC (mdd) a taxa de corrosão em perda de massa em miligrama de massa corroída por decímetro quadrado de área exposta por dia de exposição. Já TC (ipy) corresponde a taxa de corrosão de penetração em polegada de penetração por ano. Sendo que, esta última será aceitável, quando inferior a 0,005 ipy [3].

Assim, para os dados arbitrados na premissa de projeto, A = 1,09 dm² e ρ = 7,8 g/cm³:

TC (mdd) = 4500 mg / (1,09 dm² x 180 dias) = 22,94 mdd

TC (ipy) = 22,94 mdd / (696 x 7,8) ≈ 0,004 ipy

Ou seja, a penetração de corrosão no substrato será de 0,1016 mm por ano. Como o TVU é de 20 anos, e deverá haver uma sobre espessura remanescente de 20% após o TVU:

C = [0,1016 mm/ano) / 0,8] x 20 anos = 2,54 mm

Finalmente, como a perda de espessura arbitrada para o tampo (e_f), foi de 2,0 mm, tem-se que:

$$e_{mín} = e_p + C + e_f \quad (5)$$

Logo, e_{min} = 14,21 mm + 2,54 mm + 2,0 mm = 18,75 mm.

Desta forma, como a espessura nominal requerida da chapa (e_{nom}), deverá ser aquela igual ou imediatamente superior à calculada, e_{nom} = 3/4 pol = 19,05 mm

Para determinação de qual será o diâmetro do disco de chapa (D_s), que deverá ser utilizado para fabricação do tampo, o mesmo pode ser determinado pelas equações abaixo [4]:

$$D_s = (L - r)F_1 + 3{,}06r + 1{,}5e_{nom} + 2h_1 \quad (6)$$

$$F = \frac{D_e - 2r}{2(L-r)} \quad (7)$$

Sendo que, uma vez calculado o valor de F, se obtém seu respectivo valor de F_1 tabelado. Com F = 0,619048, obtém-se um F1 ≈ 1,3035 [4]. Desta forma, da Equação 6, tem-se que:

D_s = (2.100 – 525) x 1,3035 + 3,06 x 525 + 1,5 x 19,05 + 2 x 50 [mm]

ISSN: 2594-6153

Ou seja, o diâmetro do disco, antes do processo de conformação, para a fabricação do tampo em questão, será $D_s \approx 3.788$ mm.

Resultados

Os resultados obtidos, para obtenção da espessura nominal do tampo, encontram-se listados na Tabela 1:

Tabela 1 – Espessuras calculadas para o tampo torisférico

ESPESSURA	DESCRIÇÃO	VALOR
e_p	Espessura requerida para condição de pressão e temperatura de projeto	14,21 mm
C	Sobre espessura de corrosão	2,54 mm
e_f	Sobre espessura para perda de conformação	2,0 mm
$e_{mín}$	Espessura mínima requerida do tampo	18,75 mm
e_{nom}	Espessura nominal do tampo	19,05 mm

Para o desenho do tampo torisférico, além do valor do diâmetro externo do costado (D_e), do raio da coroa do tampo (L) e da espessura nominal da chapa (e_{nom}), faz-se necessário a seleção do valor do raio de abaulamento ou de rebordeamento (r).

Para o cálculo da espessura e_p (item 3), considerou-se que L = 0,7 x 3.000 mm = 2.100 mm, e que a relação L / r = 4,0, ou seja, r = 525 mm. Estes raios são tabelados pelos fabricantes de tampo e, 525 mm é um valor tabelado, não será necessário nenhum ajuste no cálculo [4]. Para altura da parte reta do tampo, será considerado h_1 = 50 mm [4].

Na Figura 1, tem-se o desenho de fabricação do tampo calculado.

Discussão

É interessante ressaltar que as regras de projeto e fabricação utilizadas pelo código de projeto ASME foram estabelecidas de modo a limitar as tensões atuantes a níveis seguros, consistente com a experiência adquirida [2]. A filosofia do código prevê limites de tensões admissíveis baixos (fator de segurança igual a 3,5) e o uso de sobre espessuras para taxa de corrosão e operação de conformação, além de ressaltar que a escolha da espessura nominal (ou comercial) da chapa, a ser utilizada para fabricação do tampo, deverá ser igual ou imediatamente superior à espessura mínima requerida no projeto. Assim, geralmente, haverá uma sobre espessura adicional para a chapa selecionada – o que torna o cálculo ainda mais conservador, corroborando para a segurança do código e permitindo eventuais extensões da

vida residual do equipamento, quando interessante para a área de negócio da planta de processo.

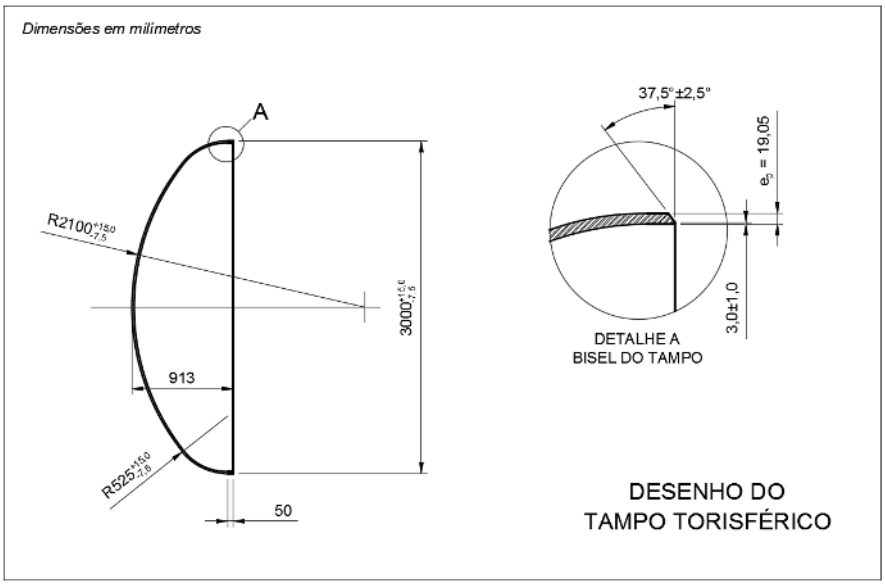

Figura 1 – Desenho do tampo para fabricação *(utilizar disco com D_s = 3.788 mm)*

Conclusão

No presente trabalho, foi possível conhecer um pouco do método de cálculo para o projeto mecânico de vasos de pressão, através do dimensionamento de um tampo torisférico pelo Código de Projeto ASME Seção VIII – Divisão 1. Conforme demonstrado, o código utiliza uma filosofia de projeto que majora a espessura de parede do equipamento, com o objetivo de se trabalhar em favor da segurança, ressaltando-se, portanto, a característica conservadora do mesmo.

Referências Bibliográficas:

1. Silva Telles, PC (1996). Vasos de Pressão. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro, p. 97, 224;
2. Donato GVP e Villas Boas FAM (2019). Projeto de Vasos de Pressão. Petrobras. Rio de Janeiro, p. 25, 40, 70, 97 (*material não publicado*);
3. Morais Jr D e Santos AR (2020). Notas de aula da disciplina Materiais, Corrosão e Espessura de Tubos, Tanques e Vasos. Unisanta. Santos (*material não publicado*);
4. Metal Tampos – Cálculos de Tampos Diversos (abaulado e bordeado). Disponível em <https://www.metaltampos.com.br> Acesso em: 22/08/2020.