

SOFTWARE PARA DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DE TANQUES DE ARMAZENAGEM

Lúcia Kumoto Katsuki

E-mail: lucia@fc.unesp.br

Vínculo: Unesp/Faculdade de Ciências/Departamento de Computação

Endereço: Av Luiz Edmundo C Coube s/n, Vargem Limpa

Telefone: (14) 221-6034

Paulo Cesar Razuk

E-mail: pcrazuk@bauru.unesp.br

Vínculo: Unesp/Faculdade de Engenharia/Departamento de Engenharia Mecânica

Endereço: Av Luiz Edmundo C Coube s/n, Vargem Limpa

Telefone: (14) 221-6119

Márcia A Zanoli Meira e Silva

E-mail: marciazm@fc.unesp.br

Vínculo: Unesp/Faculdade de Ciências/Departamento de Computação

Endereço: Av Luiz Edmundo C Coube s/n, Vargem Limpa

Telefone: (14) 221-6034

Resumo

O presente artigo apresenta um software computacional desenvolvido na linguagem Borland Delphi 4 para determinar a geometria de um tanque visando melhores condições operacionais e maior economia na construção. Os tanques são equipamentos de processo que podem ser utilizados para armazenagem, manuseio ou distribuição de fluidos e necessitam de um alto grau de segurança. A geometria do tanque é de grande importância na otimização do uso de chapas, que reduz o custo do equipamento, diminuindo o número de cortes e de soldas. O sistema desenvolvido permitiu a realização de várias simulações concluindo-se que os tanques verticais esbeltos apresentam menor custo de construção.

Abstract

This paper present software developed in the Borland Delphi 4 language to determine the geometry of a tank aiming better operational conditions and greater economy in the construction. The tanks are equipment of process which can to be utilized for storage, handling or distribution of fluids and need of a high grade of security. The geometry of the tank is very important in the optimization of the use the plates, which reduces the cost of the equipment, diminished the number of cuts and soldering. The system developed allowed the realization of several simulations concluding what the slender vertical tanks showed lower cost of construction.

Palavras Chaves :

tanque, geometria de tanques

1. INTRODUÇÃO

Os tanques, atmosféricos ou pressurizados, são equipamentos de processos básicos e importantes, nos quais os mais diversos produtos podem sofrer transformações físicas e/ou químicas. Estão presentes nas refinarias de petróleo, nas indústrias químicas e petroquímicas, alimentícias e farmacêuticas, nos terminais de armazenagem e de distribuição de produtos de petróleo e principalmente em indústrias de processamento de produtos agrícolas.

Um tanque compõe-se basicamente do costado e dos tampos. Os tampos são peças de fechamento do tanque, cujos formatos mais usuais são: semi-elíptico, toroesférico, difusor, toricônico, cônico e plano.

2. DESENVOLVIMENTO

A geometria do tanque vertical, atmosférico ou pressurizado, é definido através do cálculo das dimensões gerais, isto é, diâmetro, altura, espessura das chapas, com base nas especificações do processo.

A equação para cálculo do diâmetro do tanque varia para cada tipo de tampo inferior e depende do volume real, V_R , do tanque e da relação, R_L , entre o diâmetro e a altura, dados estes definidos de acordo com as necessidades do processo. Para os tanques com tampo inferior de tipo toricônico e cônico, o diâmetro, D , é definido, respectivamente, por:

$$D = \left(\frac{V_R}{\frac{\pi}{4R_L} + \alpha 2210^{-5} + \sin \alpha (5027 + 1257 \cos \alpha + 105 \cos^2 \alpha) 10^{-5} + \frac{\pi}{3 \tan \alpha} (0,4 + 0,1 \cos \alpha)^3} \right)^{1/3} \quad (1)$$

$$D = \left(\frac{V_R}{\frac{\pi}{4R_L} + \frac{0,1309}{\tan \alpha}} \right)^{1/3} \quad (2)$$

Segundo (Telles, 1996) a espessura da chapa de um tanque deve atender a espessura mínima para garantir a sua estabilidade estrutural e deve resistir à pressão interna.

A espessura de resistência estrutural, e_s , garante a montagem do tanque e evita um colapso pelo próprio peso ou por ação do vento. (Souza et al., 1996) sugerem para determinação desta espessura, em milímetros, para o aço-carbono e para o aço inoxidável, respectivamente, as expressões:

$$e_s = 2,5 + D + S_c \quad (3)$$

$$e_s = 1,6 + D \quad (4)$$

onde D, o diâmetro interno, deve ser empregado em metros.

A sobresspessura para corrosão, S_c , é um acréscimo de espessura, que se aplica ao aço-carbono, destinado a ser consumido pela corrosão ao longo da vida útil prevista para o tanque.

Em tanques pressurizados a espessura da parede cilíndrica e de seus tampos, aumentam para resistir à pressão interna. Os tipos de tampos, normalmente, permitidos em tanques pressurizados são semi-elíptico, toroesférico, cônico e toricônico.

Segundo o (ASME, 1998), o valor mínimo para a espessura dos cascos cilíndricos deve ser calculado pela equação

$$e = \frac{PR}{SE - 0.6P} + S_c \quad (5)$$

onde R o raio interno do cilindro, P a pressão interna de projeto, S a tensão admissível básica do material, E o coeficiente de eficiência de solda e S_c é sobresspressão para corrosão.

A tensão admissível básica do material, S , é função da temperatura de projeto do tanque e é obtida nas tabelas do código ASME para os materiais aceitos pelo mesmo.

Todas soldas dos tanques de pressão devem ser submetidas a exames para a detecção de possíveis defeitos. A radiografia é um dos métodos de inspeção de soldas. O coeficiente de eficiência das juntas soldadas, E, conforme o mesmo código, depende do grau de inspeção adotado, como consta na Tabela1.

Grau de inspeção	Coeficiente de Eficiência
Radiografia total	1
Radiografia parcial	0,85
sem radiografia	0,7

Tabela 1 – Coeficientes de eficiência de solda

A espessura mínima para a pressão interna para os tampos toricônicos e cônicos é dada pela equação:

$$e = \frac{PR}{\cos \alpha (SE - 0,6 P)} + S_c \quad (6)$$

onde α é o semi-ângulo do vértice do cone e deve ser até 30° para tampos cônicos e superior a 30° com o máximo de 60° para toricônicos.

A espessura final a ser adotada para o casco e para os tampos, será a espessura comercial da chapa imediatamente superior à mínima necessária.

O software desenvolvido, além da definição da geometria do tanque, isto é, cálculo do diâmetro, altura, espessura das chapas, obtém também o total de chapa utilizado na construção do tanque, para controle de custo.

A dificuldade no cálculo de material se encontra em obter o valor correspondente de cada tampo. Calcula-se o diâmetro planejado para cada tipo de tampo para em seguida obter-se a área do círculo empregado na construção do tampo, através de:

$$A_T = \left(\frac{\pi}{4} \right) \left(\frac{D_{PT}}{1000} \right)^2 \quad (7)$$

onde D_{PT} é o diâmetro planejado do tampo, calculado para os tampos toricônico e cônico, respectivamente, pelas equações:

$$D_{PT} = \frac{1 - 0,2(1 - \cos \alpha)}{\sin \alpha} D 1000 + 3,49 D \alpha + 2 H_S \quad (8)$$

$$D_{PT} = \frac{D}{\sin \alpha} 1000 \quad (9)$$

onde E_T é a espessura do tampo e H_S é a altura da parte reta do tampo exigida pelas normas, chamada de saia ou parte reta, estabelecendo uma certa distância entre a linha de tangência e a linha de solda. Esta parte reta evita uma distribuição irregular e concentração de tensões na região de transição de formato ou de espessura. Os tampos que possuem esta parte reta são toroesférico, toricônico, semi-elíptico e difusor.

Para formar o cone dos tampos toricônicos e cônicos, é utilizado um círculo de diâmetro D_{PT} , de onde é retirado um setor de ângulo β , cujo valor é calculado pela equação (10). Este fato, causará uma perda de material, sendo necessário o cálculo dos valores bruto e líquido, para a área e o peso.

$$\beta = 360 (1 - \sin \alpha) \quad (10)$$

Para efeito de cálculo de custos, deve ser utilizado o peso bruto. O custo de material pode ser obtido tomando a área total de chapa multiplicada pelo peso específico do material. A área total de chapa inclui a parte do costado, facilmente obtida devido o seu formato cilíndrico e os dois tampos.

3. RESULTADOS

O software computacional, apresentado em (Katsuki, 1999) foi desenvolvido na linguagem de programação Delphi 4 em um microcomputador padrão IBM PC, equipado com microprocessador Pentium, 64 MBytes de memória, 2GBytes de disco rígido, resolução de vídeo de 800x600 pixels.

Os dados utilizados no cálculo da geometria de tanques foram agrupados em quatro páginas, denominadas *Características do tanque*, *Espessura das chapas*, *Cálculo da geometria* e *Resultados*. Nelas constam, respectivamente, as informações sobre as características do tanque, espessura das chapas utilizadas na construção do tanque,

cálculo da geometria após o fornecimento da altura da parte reta e apresentação dos resultados.

A tela exibida na Figura 1 apresenta a página onde o usuário fornece as características do tanque, tais como o tipo, atmosférico ou pressurizado; o tipo dos tampos superior e inferior; o material empregado na fabricação, aço inoxidável ou carbono; alguns parâmetros iniciais e os ângulos dos vértices para o caso de tampos toricônicos e cônicos.

Tanque -
Arquivo Impressão Ajuda

Características do tanque | Espessura das chapas | Cálculo da geometria | Resultados

Tipo de tanque
☐ Atmosférico
☒ Pressurizado

Tampo superior
 Cônico

Tampo inferior
 Toricônico com raio de concordância igual a 10% do diâmetro

Tipo de material
☐ Aço inoxidável
☒ Aço-carbono

Parâmetros iniciais
 Altura (m): 2.5
 Adicional para o volume real: 10
 Relação entre diâmetro e altura: 0.9
 Semi-ângulo do vértice (graus):
 Tampo superior: 75
 Tampo inferior: 60

Resultados parciais
 Volume útil (l): 10253.26
 Diâmetro (m): 2.25
 Volume real (m³): 11.28

Calcular

Figura 1 - Características do tanque.

Na segunda página, mostrada na Figura 2, o programa exibe o valor calculado para a espessura mínima que garante a resistência estrutural e aguarda o fornecimento dos dados de operação, temperatura e pressão. Para tanques pressurizados, deve ser informado o grau de inspeção, cujas opções mostradas em uma lista vertical são as seguintes: radiografia total, radiografia parcial e não radiografado. O botão *Calcular* exibirá a espessura mínima para a pressão interna e a adotada para cada tampo e do costado. É adotada a espessura comercial mais próxima.

Tanque -
Arquivo Impressão Ajuda

Características do tanque | Espessura das chapas | Cálculo da geometria | Resultados

Espessura mínima para estabilidade estrutural
 Valor mínimo (mm): 6.75

Sobrespessura (mm)
 para aço-carbono: 2

Dados de operação
 Temperatura (°C): 30
 Pressão (kgf/cm²): 3

Espessura adotada das chapas (mm)
 Tampo superior: 19.05
 Costado: 7.90
 Tampo inferior: 12.70

Parâmetros do vaso pressurizado
 Grau de inspeção:
 Tampo superior: Não radiografado
 Costado: Não radiografado
 Tampo inferior: Não radiografado

Espessura mínima (mm) para a pressão
 Tampo superior: 18.78
 Costado: 6.34
 Tampo inferior: 10.69

Calcular

Figura 2 - Cálculo da Espessura das chapas.

A Figura 3 mostra a página onde é informada a altura da parte reta do tanque. Como esta altura depende da espessura das chapas, o programa mostra novamente os valores adotados.

O botão *Calcular geometria* deverá ser pressionado após o fornecimento de todos dados, causando a exibição dos resultados na última página, mostrada na Figura 4. Os dados obtidos da geometria do tanque são o volume, a altura, a área e o peso de cada parte e do tanque inteiro.

Tanque - Arquivo Impressão Ajuda

Características do tanque | Espessura das chapas | **Cálculo da geometria** | Resultados

Espessura adotada das chapas (mm)

Tampo superior : 19.05

Tampo inferior : 12.70

Altura da parte reta (mm)

Tampo inferior : 25

Sugestão dos fabricantes sobre altura da parte reta

Espessura do tampo (mm)	Altura da parte reta (mm)
até 3,2	10
de 3,3 a 6,2	15
de 6,3 a 9,5	20
de 9,6 a 15,9	25
de 16,0 a 22,2	30
acima de 22,3	40

Calcular geometria

OK

Figura 3 - Cálculo da geometria.

Tanque - Arquivo Impressão Ajuda

Características do tanque | Espessura das chapas | Cálculo da geometria | **Resultados**

Resultados da geometria

	Tampo superior	Costado	Tampo inferior	Total
Volume (m³)	0.40	9.84	1.44	11.68
Altura (mm)	301.44	2475.00	804.42	3580.87
Área (m²) bruta	4.26	17.56	6.42	28.24
líquida	4.11		5.56	27.23
Peso (kgf) bruto	633.22	1081.81	636.13	2351.16
líquido	611.32		550.57	2243.70
Cota da superfície livre (mm) :	2242.13			

Figura 4 - Resultados obtidos.

4. CONCLUSÃO

O sistema computacional desenvolvido proporcionou de maneira rápida e eficiente, a obtenção de resultados na determinação de parâmetros referentes a geometria de tanques verticais atmosféricos ou pressurizados. Uma análise dos resultados obtidos de várias simulações realizadas permitiu concluir que os tanques verticais esbeltos apresentaram menor custo de construção.

5. REFERÊNCIAS

- ASME (1998). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*. Seção VIII divisão 1. EUA. **The American Society of Mechanical Engineers**, 633-641.

-
- Katsuki, L. K. (1999) **Sistema integrado computacional auxiliar na definição da geometria e agitação de tanques atmosféricos e pressurizados, aliado a técnicas de extrapolação.** Botucatu. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP.
 - Souza, E., Razuk, P.C. (1996) **Operações Unitárias no Tratamento do Xarope de Açúcar.** Bauru. EDIPRO.
 - Telles, P.C.S. (1996) **Vasos de Pressão.** 2^a ed. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos.