

Memória de Cálculo

ASME VIII Divisão 1, Edição 1998



TAG: VASO-012

PULMÃO DE AR COMPRIMIDO

Cliente: Bunge – Moinho Pacífico – Santos/SP

www.conerge-engenharia.com.br

Rua Dr. Manuel Tourinho, 10 * Vila Mathias * Santos * SP * CEP 11015-030 * Voip: (13) 3466-7187

e-mail: comercial@conerge-engenharia.com.br

1 - Dados de Entrada

Tipo de Vaso.....	Vertical
Material do casco.....	SA-283 Grau C (ADOTADO)
Material do tampo esquerdo.....	SA-283 Grau C (ADOTADO)
Material do tampo direito.....	SA-283 Grau C (ADOTADO)
Tampo esquerdo.....	Toro esférico 10%
Tampo direito.....	Toro esférico 10%
Diâmetro interno.....	570,00 mm
Comprimento do casco.....	1740,00 mm
Pressão interna.....	6,5000 kgf/cm ²
Pressão externa.....	0,0000 kgf/cm ²
Vácuo.....	0,0000 kgf/cm ²
Temperatura de Projeto.....	80,000 °C
Densidade do produto (ρ).....	1500,0 kg/m ³
Densidade do fluido de teste (ρ_T).....	1000,0 kg/m ³

2 - Cálculo do Casco

Material.....	SA-283 Grau C (ADOTADO)
Pressão Interna (P_i).....	6,5000 kgf/cm ²
Temperatura Interna de Projeto (T_D).....	80,000 °C
Diâmetro interno (D).....	570,00 mm
Sobre-espessura de Corrosão Interna (t_{ic}).....	0,0000 mm
Sobre-espessura de Corrosão Externa (t_{ec}).....	0,0000 mm
Junta longitudinal.....	Categoria A, Tipo 1, Sem Rad. UW-11(c)
Junta Casco x Tampo Tampo superior.....	Categoria B, Tipo 1, Sem Rad. UW-11(c)
Junta Casco x Tampo inferior.....	Categoria B, Tipo 1, Sem Rad. UW-11(c)

2.1 - Seção Cilíndrica 1

2.1.1 - Dados Básicos

Comprimento (L_s).....	1160,00 mm
Eficiência da junta longitudinal (E_l).....	0,70000
Eficiência da junta circunferencial (E_c).....	0,70000

2.1.2 - Cálculo da Coluna de Líquido

Pressão Estática - Operação - P_s ($H_s = 1880,5$ mm).....	0,28207 kgf/cm ²
Pressão Estática - Teste Hidrostático de Fábrica - P_{th} ($H_{th} = 570,00$ mm).....	0,05700 kgf/cm ²
Coluna de Líquido para Teste Hidrostático de Campo - P_{tv} ($H_{tv} = 1880,5$ mm)....	0,18805 kgf/cm ²

2.1.3 - Cálculo da Pressão Interna

Raio Interno da Seção do Casco Corroída (R).....	285,00 mm
Pressão Interna de Projeto ($P = P_i + P_s$).....	6,7821 kgf/cm ²
Espessura Mínima sob Pressão Interna (t).....	2,8631 mm

Tensão circunferencial governa para pressão interna.

Espessura para tensão circunferencial é dada por UG-27(c)(1), como segue:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6 P}$$

$$t = \frac{6,78 \times 285}{970,24 \times 0,7 - 0,6 \times 6,7821}$$

$$\therefore t = 2,8631 \text{ mm}$$

Espessura para tensão longitudinal é dada por UG-27(c)(2), como segue:

$$t = \frac{PR}{2 S_1 E + 0,4 P}$$

$$t = \frac{6,78 \times 285}{2 \times 970,24 \times 0,7 + 0,4 \times 6,7821}$$

$$\therefore t = 1,4202 \text{ mm}$$

2.1.4 - Tensão de Compressão Admissível por UG-23(b)

Condição	R ₀ (mm)	T (mm)	Fator A	Fator B (kgf/cm ²)	S (kgf/cm ²)	S _c (kgf/cm ²)
Temperatura de Projeto/Corroído	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24
Temperatura de Projeto/Novo	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24
Temperatura de Teste/Corroído	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24
Temperatura de Teste/Novo	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24

- a) R₀ = raio externo
 b) t = Espessura com sobre-espessura de corrosão incluída
 c) A = 0,125/(R₀/t) - UG-23(b) Step 1
 d) S = tensão máxima admissível de tração - UG-23(a)
 e) S_c = menor entre S e B

2.1.5 - Cálculo da Espessura Nominal Mínima

Espessura mínima (t)..... 2,8631 mm
 Mínima espessura incluindo a Sobre-espessura de Corrosão (t_c)..... 2,8631 mm
 Espessura nominal (t_n)..... 4,7600 mm

Como t_n ∞ t_c, a espessura nominal é adequada.

2.1.6 - Cálculo da PMTA

Máxima Tensão Admissível na Temperatura de Projeto (S)..... 970,24 kgf/cm²
 Espessura Corroída da Seção do Casco (t)..... 4,7600 mm
 Raio Interno da Seção do Casco Corroída (R)..... 285,00 mm
 Pressão máxima de trabalho admissível (PMTA)..... 10,949 kgf/cm²

2.2 - Seção Cilíndrica 2

2.2.1 - Dados Básicos

Comprimento (L_s).....	5800,00 mm
Eficiência da junta longitudinal (E_l).....	0,70000
Eficiência da junta circunferencial (E_c).....	0,70000

2.2.2 - Cálculo da Coluna de Líquido

Pressão Estática - Operação - P_s ($H_s = 1880,5$ mm).....	0,10807 kgf/cm ²
Pressão Estática - Teste Hidrostático de Fábrica - P_{th} ($H_{th} = 570,00$ mm).....	0,05700 kgf/cm ²
Coluna de Líquido para Teste Hidrostático de Campo - P_{tv} ($H_{tv} = 1880,5$ mm)....	0,07205 kgf/cm ²

2.2.3 - Cálculo da Pressão Interna

Raio Interno da Seção do Casco Corroída (R).....	285,00 mm
Pressão Interna de Projeto ($P = P_i + P_s$).....	6,6081 kgf/cm ²
Espessura Mínima sob Pressão Interna (t).....	2,7892 mm

Tensão circunferencial governa para pressão interna.

Espessura para tensão circunferencial é dada por UG-27(c)(1), como segue:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

$$t = \frac{6,6081 \times 285}{970,24 \times 0,7 - 0,6 \times 6,6081}$$

$$\therefore t = 2,7892 \text{ mm}$$

Espessura para tensão longitudinal é dada por UG-27(c)(2), como segue:

$$t = \frac{PR}{2 S_l E + 0,4P}$$

$$t = \frac{6,78 \times 285}{2 \times 970,24 \times 0,7 + 0,4 \times 6,6081}$$

$$\therefore t = 1,3838 \text{ mm}$$

2.2.4 - Tensão de Compressão Admissível por UG-23(b)

Condição	R_0 (mm)	T (mm)	Fator A	Fator B (kgf/cm ²)	S (kgf/cm ²)	S_c (kgf/cm ²)
Temperatura de Projeto/Corroído	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24
Temperatura de Projeto/Novo	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24
Temperatura de Teste/Corroído	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24
Temperatura de Teste/Novo	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24

a) R_0 = raio externo

b) t = Espessura com sobre-espessura de corrosão incluída

- c) $A = 0,125/(R_o/t)$ - UG-23(b) Step 1
 d) S = tensão máxima admissível de tração - UG-23(a)
 e) S_c = menor entre S e B

2.2.5 - Cálculo da Espessura Nominal Mínima

Espessura mínima (t).....	2,7892 mm
Mínima espessura incluindo a Sobre-espessura de Corrosão (t_c).....	2,7892 mm
Espessura nominal (t_n).....	4,7600 mm

Como $t_n \geq t_c$, a espessura nominal é adequada.

2.1.6 - Cálculo da PMTA

Máxima Tensão Admissível na Temperatura de Projeto (S).....	970,24 kgf/cm ²
Espessura Corroída da Seção do Casco (t).....	4,7600 mm
Raio Interno da Seção do Casco Corroída (R).....	285,00 mm
Pressão máxima de trabalho admissível (PMTA).....	11,123 kgf/cm ²

3 - Cálculo dos Tampos Superior / Inferior

3.1 - Especificações do Tampo

Tampo.....	Semi-elíptico 2:1 L/D=0,90 r/D=0,17
Material.....	SA-283 Grau C (ADOTADO)
Espessura nominal (t_n).....	4,7600 mm
Pressão Interna (P_i).....	6,5000 kgf/cm ²
Temperatura Interna (T_i).....	80,000 °C
Temperatura de Projeto (T_D).....	80,000 °C
Tensão Admissível na Temperatura de Projeto (S).....	970,24kgf/cm ²
Tensão Admissível na Temperatura de Teste (S_T).....	970,24kgf/cm ²
Corrosão interna (t_{ic}).....	0,0000 mm
Corrosão externa (t_{ec}).....	0,0000 mm
Esmagamento.....	0,0000 mm
Comprimento da parte cilíndrica.....	30,00 mm

3.2 - Cálculo da Coluna de Líquido

3.2.1 – Seção Cilíndrica

Pressão Estática - Operação - P_s ($H_s = 140,45$ mm).....	0,02107 kgf/cm ²
Pressão Estática - Teste Hidrostático de Fábrica - P_{th} ($H_{th} = 570,00$ mm).....	0,05700 kgf/cm ²
Coluna de Líquido para Teste Hidrostático de Campo - P_{tv} ($H_{tv} = 140,45$ mm)....	0,01405 kgf/cm ²

3.2.2 – Seção Toro esférica

Pressão Estática - Operação - P_s ($H_s = 110,45$ mm).....	0,01657 kgf/cm ²
Pressão Estática - Teste Hidrostático de Fábrica - P_{th} ($H_{th} = 570,00$ mm).....	0,05700 kgf/cm ²
Coluna de Líquido para Teste Hidrostático de Campo - P_{tv} ($H_{tv} = 140,45$ mm)....	0,01105 kgf/cm ²

3.3 - Cálculo da Pressão Interna

3.3.1 – Parte Cilíndrica

Raio Interno Corroído da Parte Retta (R).....	285,00 mm
Pressão Interna de Projeto ($P = P_i + P_s$).....	6,5211 kgf/cm ²
Espessura Mínima sob Pressão Interna (t).....	2,4000 mm

Tensão circunferencial governa para pressão interna.

Espessura para tensão circunferencial é dada por UG-27(c)(1), como segue:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6 P}$$

$$\therefore t = 1,9233\text{mm}$$

Espessura para tensão longitudinal é dada por UG-27(c)(2), como segue:

$$t = \frac{PR}{2 Si E + 0,4 P}$$

$$\therefore t = 1,3656\text{mm}$$

De acordo com UG-16(b)(4), a espessura mínima não pode ser menor do que 2,4000 mm. A espessura mínima será a justada para: $t = 2,4000$ mm.

3.3.2 - Tensão de Compressão Admissível por UG-23(b)

Condição	R ₀ (mm)	T (mm)	Fator A	Fator B (kgf/cm ²)	S (kgf/cm ²)	S _c (kgf/cm ²)
Temperatura de Projeto/Corroído	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24
Temperatura de Projeto/Novo	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24
Temperatura de Teste/Corroído	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24
Temperatura de Teste/Novo	289,76	4,7600	0,002053	1059,9	970,24	970,24

- a) R₀ = raio externo
 b) t = Espessura com sobre-espessura de corrosão incluída
 c) A = 0,125/(R₀/t) - UG-23(b) Step 1
 d) S = tensão máxima admissível de tração - UG-23(a)
 e) S_c = menor entre S e B

Nota: Pela UG-32(I), quando o tanque tem uma parte cilíndrica, a espessura da parte cilíndrica deve ser mínimo igual à requerida para cilindros sem costura de mesmo diâmetro.

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

3.3.3 – Seção Toro esférica

Fator M

fator M novo (M)..... 1,5406

O fator M é calculado por 1-4(d):

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{570}{57}} \right)$$

$$\therefore M = 1,5406$$

fator M corroído (M_c)..... 1,5406

O fator M é calculado por 1-4(d):

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{570}{57}} \right)$$

∴ $M_c = 1,5406$

Eficiência de junta (E).....	0,85000
Raio Interno da Coroa Corroída (L).....	570,00 mm
Pressão Interna de Projeto ($P = P_i + P_s$).....	6,5166 kgf/cm ²
Espessura Mínima sob Pressão Interna (t).....	3,4721 mm

Espessura mínima sob pressão interna é dada por Apêndice 1-4 (d)(3):

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0,2P}$$

∴ $t = 3,4721\text{mm}$

3.4 - Cálculo da Espessura Nominal Mínima

3.4.1 – Parte cilíndrica

Espessura mínima (t).....	2,4000 mm
Mínima espessura incluindo a Sobre-espessura de corrosão (t_c).....	2,4000 mm

3.4.2 – Toro esférico

Espessura mínima (t).....	3,4721 mm
Espessura Mínima Mais Esmagamento e Corrosão (t_c).....	3,4721 mm

3.4.2 - Resultados Finais

Espessura mínima (t).....	3,4721 mm
Espessura Mínima Mais Esmagamento (t_r).....	3,4721 mm
Espessura Mínima Mais Esmagamento e Corrosão (t_c).....	3,4721 mm
Espessura nominal (t_n).....	4,7600 mm

Como $t_n \geq t_c$, a espessura nominal é adequada.

3.5 - Cálculo da PMTA

3.5.1 - Parte Cilíndrica

Máxima Tensão Admissível na Temperatura de Projeto (S).....	970,24 kgf/cm ²
Espessura Corroída da Parte Reta (t).....	4,7600 mm
Raio Interno Corroído da Parte Reta (R).....	285,00 mm
Pressão máxima de trabalho admissível (PMTA).....	16,023 kgf/cm ²

Tensão circunferencial governa para pressão interna. A PMTA para pressão interna, na temperatura de projeto (80,000 °C), é [ver UG-27(c)(1)]:

$$PMTA = \frac{SEt}{R + 0,6t} - P_s$$

∴ $PMTA = 16,023\text{kgf/cm}^2$

3.5.2 - Seção Toro esférica

Corroded Thickness (t).....	4,7600 mm
Raio Interno da Coroa Corroída (L).....	570,00 mm
Eficiência de junta (E).....	0,85000
Fator M (M).....	1,5406
Pressão máxima de trabalho admissível (PMTA).....	8,9146 kgf/cm ²

PMTA é dada por Apêndice 1-4(d)(3):

$$PMTA = \frac{2 S M L}{L M + 0,2 L} - t$$

∴ PMTA = 6,500 kgf/cm²

4 - Teste Hidrostático de Campo baseado na PMTA de acordo com UG-99(b)

4.1 - Dados do Teste

O Teste de Campo é executado com o vaso na..... Posição Vertical
 Pressão local durante o teste..... 6,500 kgf/cm²
 Pressão Hidrostática de Teste de Campo a 21,000 °C..... 9,750 kgf/cm²
 Fator de Pressão - UG-99(b)..... 1,5000
 Relação de Tensões - UG-99(b)..... 1,0000

5 - Sumário do Cálculo do Vaso

Temperatura de Projeto..... 100,00 °C
 Pressão Interna de Projeto..... 6,5000 kgf/cm²
 Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) por UG-98(a)..... 6,5000 kgf/cm²

6 - Resumo da Pressão

Componentes do Vaso		Pressão Interna (kgf/cm ²)	Pressão Estática (kgf/cm ²)	Pressão Externa (kgf/cm ²)	Vácuo (kgf/cm ²)	Sobre-espessura		Esmagamento (mm)
						Interno	Externa	
						(mm)	(mm)	
Tampo superior	Toro esférico	6,5000	0,01657	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Parte cilíndrica	6,5000	0,02107	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Casco	Seção 2	6,5000	0,10807	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	---
	Seção 1	6,5000	0,28207	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	---
Tampo inferior	Toro esférico	6,5000	0,28657	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Parte cilíndrica	6,5000	0,30314	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Componentes do Vaso		Pressão Interna Total (kgf/cm ²)	Pressão Externa Total (kgf/cm ²)	PMTA (kgf/cm ²)
Tampo superior	Toro esférico	6,5000	0,0000	6,5000
	Parte cilíndrica	6,5000	0,0000	6,5000
Casco	Seção 2	6,5000	0,0000	6,5000
	Seção 1	6,5000	0,0000	6,5000
Tampo inferior	Toro esférico	6,5000	0,0000	6,5000
	Parte cilíndrica	6,5000	0,0000	6,5000

PMTA: Pressão Máxima de Trabalho Admissível [UG-98(a)]

PMTA é o menor dos valores encontrados para a Pressão Máxima de Trabalho Admissível para qualquer das partes essenciais de um vaso, ajustada para qualquer diferença na coluna de líquido que possa existir entre a parte considerada e o topo do vaso.

Se o cálculo da PMTA não está incluído no relatório de cálculo, então o vaso não precisa ser testado com base na PMTA, e, neste caso, a placa de identificação deve ter a Pressão de Projeto como a PMTA.

Pressão Máxima de Trabalho Admissível para o Vaso: 6,5000 kgf/cm² a 80,00 °C

8 - Sumário de Espessuras

Componentes do Vaso		Nominal (mm)	Projeto (mm)	Após Conformação (mm)	Mínima adotada (mm)	Eficiência da Junta Soldada	Carregamento
Tampo Superior	Parte cilíndrica	4,7600	2,400	2,4000	3,5000	1,00	Pressão Interna
	Toro esférico	4,7600	3,4721	3,4721	3,5000	0,85	Pressão Interna
Casco	Seção 2	4,7600	2,7892	2,7892	3,0000	0,70	Pressão Interna
	Seção 1	4,7600	2,8631	2,8631	3,0000	0,70	Pressão Interna
Tampo Inferior	Parte cilíndrica	4,7600	2,400	2,400	3,6500	1,00	Pressão Interna
	Toro esférico	4,7600	3,6249	3,6249	3,6500	0,85	Pressão Interna

- a) Nominal: chapa comercial/espessura schedule
- b) Mínima adotada: espessura mínima adotada
- c) Projeto: espessura mínima de projeto, inclui corrosão e tolerância de conformação
- d) Após conformação: espessura mínima do material após a conformação

9 - Teste Hidrostático de Campo baseado na PMTA de acordo com UG-99(b)

A pressão do teste hidrostático de campo é igual a 9,7500 kgf/cm² a 21,000 °C (PMTA = 6,5000 kgf/cm²).


O teste de campo é executado com o vaso na posição vertical.

Componentes do Vaso		Pressão Local no Teste (kgf/cm ²)	Pressão Estática (kgf/cm ²) (mm)	Razão de Tensões (mm)	Tensão Máxima no Teste (kgf/cm ²)
Tampo Superior	Parte cilíndrica	9,7500	0,01405	1,000	1309,8
	Toro esférico	9,7500	0,01105	1,000	1309,8

Casco	Seção 2	9,7500	0,07205	1,000	1309,8
	Seção 1	9,7500	0,18805	1,000	1309,8
Tampo Superior	Parte cilíndrica	9,7500	0,19105	1,000	1309,8
	Toro esférico	9,7500	0,20209	1,000	1309,8

- a) Fator de Pressão - UG-99(b): 1,500
 b) Relação de Tensões - UG-99(b) : 1,000
 c) Pressão Local no Teste = Pressão do Teste + Pressão Estática no Teste
 d) Tensão Máxima durante o Teste = 0,9 x Tensão de Escoamento

CONTROLE DE EMISSÃO

Engenheiro Mecânico	RODRIGO KENJI EGAMI CREA SP 5070656258	 Assinatura	08/09/2022 Data
----------------------------	---	--	----------------------------------

"Inspeção com Segurança e Qualidade é nossa Prioridade"