


Rauber Campregher

**Projeto de
Tanque Subterrâneo de
Armazenamento de Combustível
em Postos de Serviço**

7, 10 (sete)
aprovado
16 mar 1999


Orientador : Prof. Dr. Edson Gomes

1998

DEDICATÓRIA

À Katia,
meu filho,
minha família.

AGRADECIMENTOS

PROF. DR. EDSON GOMES,

PROF. DR. DENIOL TANAKA,

DR. HERMANO TAVARES,

CONFAB TUBOS S.A.,

SVEDALA FAÇO LTDA.

ÍNDICE

1. ESCOPO DO PROJETO	2
2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO	3
3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	4
3.1. Capacidade e dimensões das chapas	4
3.2. Costado	4
3.3. Tampo	4
3.4. Acessórios	5
3.4.1. Chapa de desgaste	5
3.4.2. Alça para içamento e guia	6
3.4.3. Bujão	6
3.5. Material para construção e montagem	6
3.6. Processo de soldagem	7
3.7. Conexões do tanque	7
3.7.1 Luvas	9
3.7.2 Anel de reforço	9
3.7.3 Boca-de-visita	9
3.7.4 Parafusos	10
3.7.5 Tubo de carga	10
3.7.6 Suporte para proteção catódica	10
3.8. Revestimento externo	11
3.9. Pressão externa	11

3.10. Tolerâncias de montagem	11
4. PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO E CONTROLE DA QUALIDADE	12
4.1. Ensaaios	12
4.1.1. Ensaio dimensional	12
4.1.2. Ensaio não destrutivo	12
4.1.3. Ensaio mecânico	13
4.1.4. Ensaio de vazamento	13
4.2. Aceitação e rejeição	13
4.2.1. Ensaio não destrutivo	13
4.2.2. Ensaio mecânico	14
4.2.3. Ensaio de vazamento	14
4. PROCEDIMENTOS PARA O DIMENSIONAMENTO	15
5.1. Capacidade volumétrica	15
5.2. Espessura das chapas	16
5.2.1. Ensaio de verificação da resistência à pressão externa	16
5.2.2. Cálculo da espessura	16
5.2.2.1. Equação de Roark	17
5.3. Dimensionamento das alças de içamento e guia	18
6. SEQUÊNCIA DE FABRICAÇÃO	19
6.1. Montagem do costado	20

6.2. Fabricação do costado	20
6.3. Fabricação do pescoço da boca de visita	21
6.4. Fabricação dos tampos	21
6.5. Geometria das juntas soldadas	21
7. PROTEÇÃO EXTERNA DO TANQUE	23
7.1. Preparação da superfície	23
7.1.1 Jateamento e limpeza	23
7.2. Proteção por barreira	23
7.3. Proteção catódica	24
7.4. Ensaios de qualificação do revestimento	24
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
Apêndice 1 - Cálculo da espessura das chapas	29
Apêndice 2 - Dimensionamento das alças de içamento	31
Apêndice 3 - Proteção catódica	32

1 - ESCOPO DO PROJETO

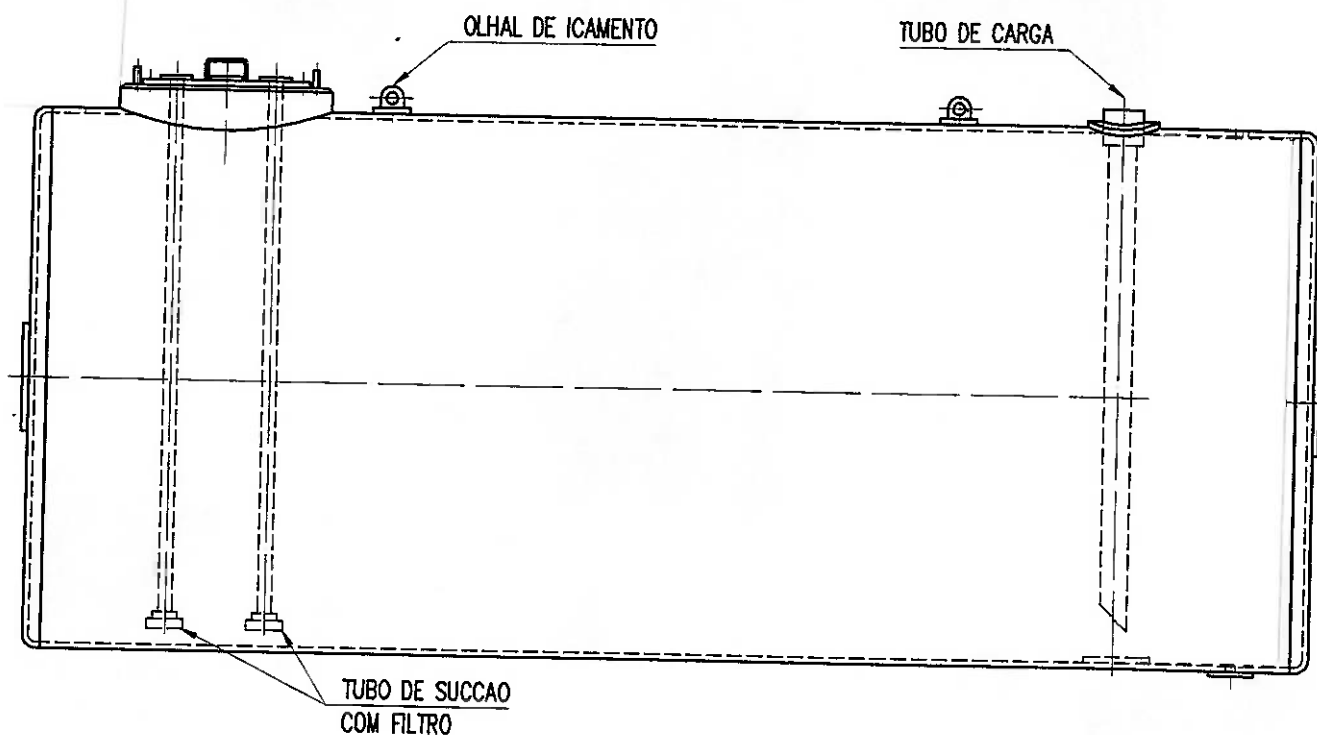
Este trabalho apresenta o projeto básico de um tanque subterrâneo de armazenamento de combustível líquido em postos de serviço, construído em aço-carbono, com capacidade nominal de 15.000 litros e monocompartimentado. São detalhados os procedimentos de seleção de materiais para os componentes do tanque, incluindo o material a ser empregado na execução das junções soldadas. Apresenta-se o dimensionamento estrutural do tanque, seu processo de fabricação, testes, proteção contra a corrosão e instalação e disposição final do tanque e equipamentos acessórios.

Descreve-se com especial atenção os processos de proteção contra a corrosão e soldagem, fundamentais para a qualidade e segurança do produto.

O projeto ampara-se nas normas:

- NBR 13212 - Tanques subterrâneos de resina termofixa reforçada com fibra de vidro, para armazenamento de combustíveis líquidos em postos de serviço;
- NBR 13312 - Construção de tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono;
- NBR 13782 - Sistema de proteção externa para tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono e suas tubulações para postos de serviço;
- NBR 13788 - Proteção catódica para sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) em posto de serviço;
- UL Standard for Safety for Steel Underground Tanks for Flammable and Combustible Liquids, UL58.

2 - DESCRIÇÃO DO PRODUTO



- a) tanque subterrâneo: Tanque instalado no subsolo.
- b) costado: Parte que forma a estrutura cilíndrica do tanque.
- c) tampo: Disco externo que compõe a extremidade da estrutura cilíndrica do tanque.
- d) cava: Depressão no terreno provocada artificialmente, com a finalidade de instalação do tanque.
- e) berço: Apoio de sustentação para impedir o contato do costado do tanque com qualquer superfície.
- f) boca-de-visita: Abertura localizada na geratriz superior do tanque que permite o acesso ao seu interior.
- g) tampa da boca de visita: Flange cego que permite a instalação de conexões.
- h) tubo de carga: Tubo por onde o combustível é inserido.
- i) chapa de desgaste: Chapa soldada na parte interior e inferior do tanque sob o tubo de descarga.
- j) alças de içamento.

3 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

3.1) Capacidade e dimensões das chapas

A capacidade nominal e as dimensões das chapas assim como a sua massa teórica, segundo a norma NBR 13312/1995, devem apresentar os seguintes valores:

<i>Capacidade nominal</i> (L)	<i>Diâmetro interno máx.</i> (mm)	<i>Comprimento do costado</i> (mm)	<i>Espessura nominal do tampo e do costado</i> (mm)	<i>Massa teórica</i> (Kg)
15000	1910	5400	4,75	1650
30000	2549	6000	6,35	3200
30000 ⁽¹⁾	2549	6000	6,35	3650

⁽¹⁾ Compartimentado (15000 L por compartimento).

3.2) Costado

O costado dos tanques deve ser fabricado a partir de chapas ou bobinas de aço-carbono conformadas a frio em calandras. As soldas devem ser de penetração total, executadas pelos lados interno e externo.

A soldagem pode ser longitudinal, no caso do uso de chapas, helicoidal, no caso do uso de bobina, e/ou circumferencial, quando o costado é formado por anéis.

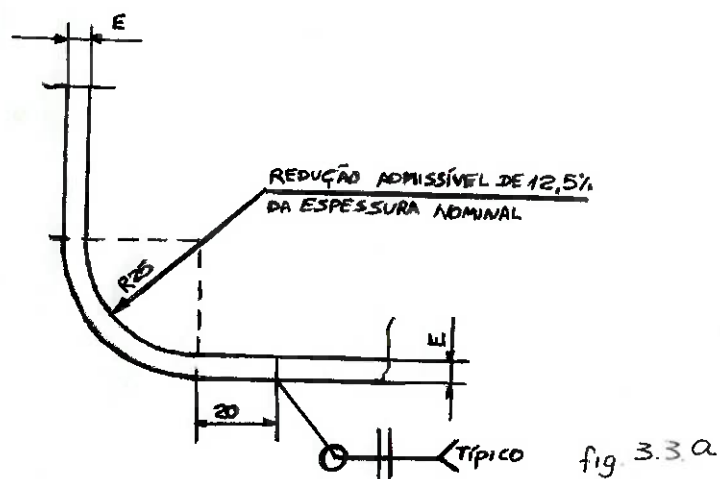
No caso do costado formado por anéis com solda circumferencial, deve-se atender aos seguintes requisitos:

- tanque de 15000 L: no máximo quatro anéis e chapa única por anel;
- A defasagem dos cordões das soldas longitudinais, na montagem de dois anéis consecutivos, deve ser de no mínimo 150mm.

3.3) Tampo

Os tampos são fabricados a partir de chapas de aço cortadas em forma de disco e formados por processo de conformação (calandragem da borda) que garanta as tolerâncias de espessura da chapa.

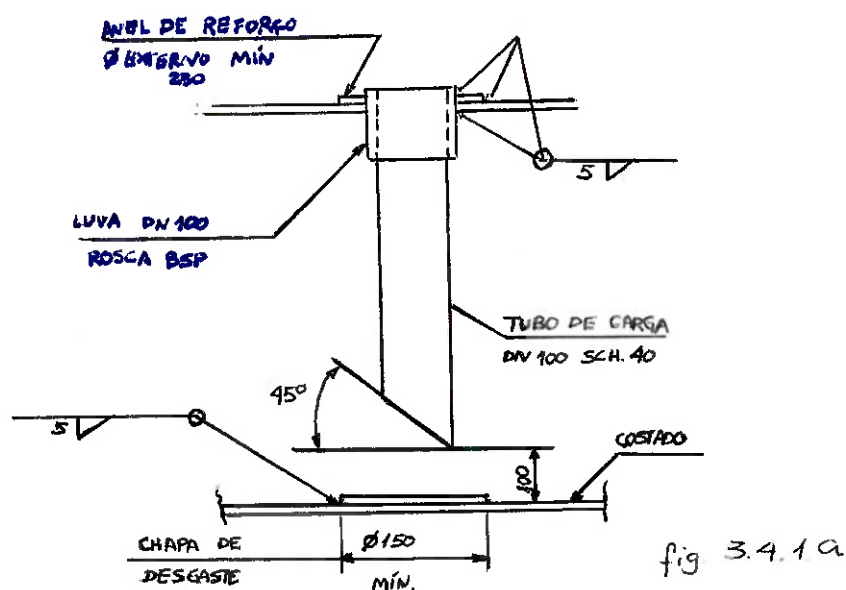
Para cada disco que compõe o tampo, é permitida uma solda transversal, defasada de, no mínimo, 150 mm da linha de centro. A espessura do disco não deve ser inferior à espessura nominal do costado. A união dos tampos ao costado deve ser feita por soldas de penetração total (fig. 3.3.a).



3.4) Acessórios

3.4.1) Chapa de desgaste

O tanque deve possuir uma chapa de desgaste, de mesmo material, localizada em seu fundo, na parte interna do costado, na direção do duto de carga, onde o combustível alimentado se choca com a parede. Esta chapa deve ter no mínimo 4,75 mm de espessura e diâmetro mínimo de 150 mm (fig. 3.4.1.a)



3.4.2) Alça para içamento e guia

Devem existir duas alças de içamento soldadas na geratriz superior do costado e duas alças guia soldadas, uma em cada tampo, na direção da geratriz superior do costado.

As alças de içamento devem possuir altura suficiente em relação ao costado do tanque, para permitir a colocação de gancho. As alças-guia não podem ser usadas para içamento. (fig. 3.4.2.a e fig 3.4.2.b)

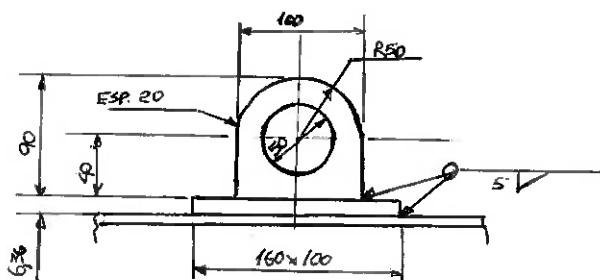


fig 3.4.2.a

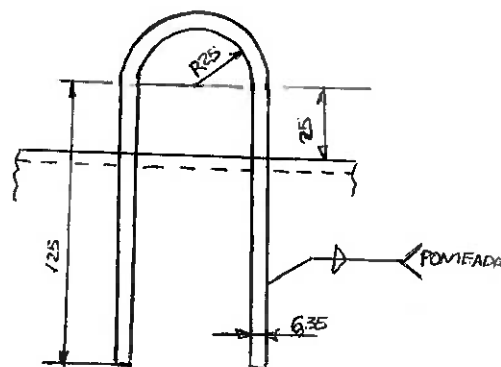


fig. 3.4.2.b

3.4.3) Bujão

Devem ser colocados bujões provisórios em todas as conexões.

3.5) Material para construção e montagem

Os materiais a serem empregados na construção do tanque são os seguintes:

- chapas ou bobinas conforme uma das seguintes especificações: ASTM A 283 Grau C e D, ASTM A 36 ou ASTM A 570 Grau 36;
- luvas conforme ASTM A 105;
- parafusos e porcas galvanizados e bicromados e de acordo com ASTM A 307 Grau B. A galvanização deve ser conforme a ASTM B 633 tipo II SC-3;

- d) tubo de carga de aço-carbono com dimensional ANSI B 36.10 *schedulle* 40, conforme fig. 3.4.1.1.
- e) junta da boca-de-visita de amianto grafitado.

3.6) Processo de soldagem

O processo de soldagem deve atender aos seguintes requisitos:

- a) eletrodos revestidos para soldagem manual devem atender a AWS A 5.1;
- b) consumíveis para soldagem por arco submerso devem atender a AWS A 5.17;
- c) consumíveis para soldagem por *mig-mag* devem atender a AWS A 5.18;
- d) arames tubulares devem atender a AWS A5.20;
- e) aparência final da soldagem deve atender a AWS D1.1;
- f) defeitos de solda devem ser removidos e reparados por soldagem automática ou manual, conforme procedimento qualificado;
- g) devem ser seguidas as regras dadas na qualificação de solda do Código ASME Seção IX.

3.7) Conexões do tanque

As conexões estarão localizadas na tampa da boca-de-visita, conforme fig. 3.7.a, 3.7.b e 3.7.c.

Na montagem das conexões para sucção, as posições 1 e 2, indicadas na fig. 3.7.a, devem ser mantidas, podendo-se optar pela colocação das conexões das posições 3 a 6.

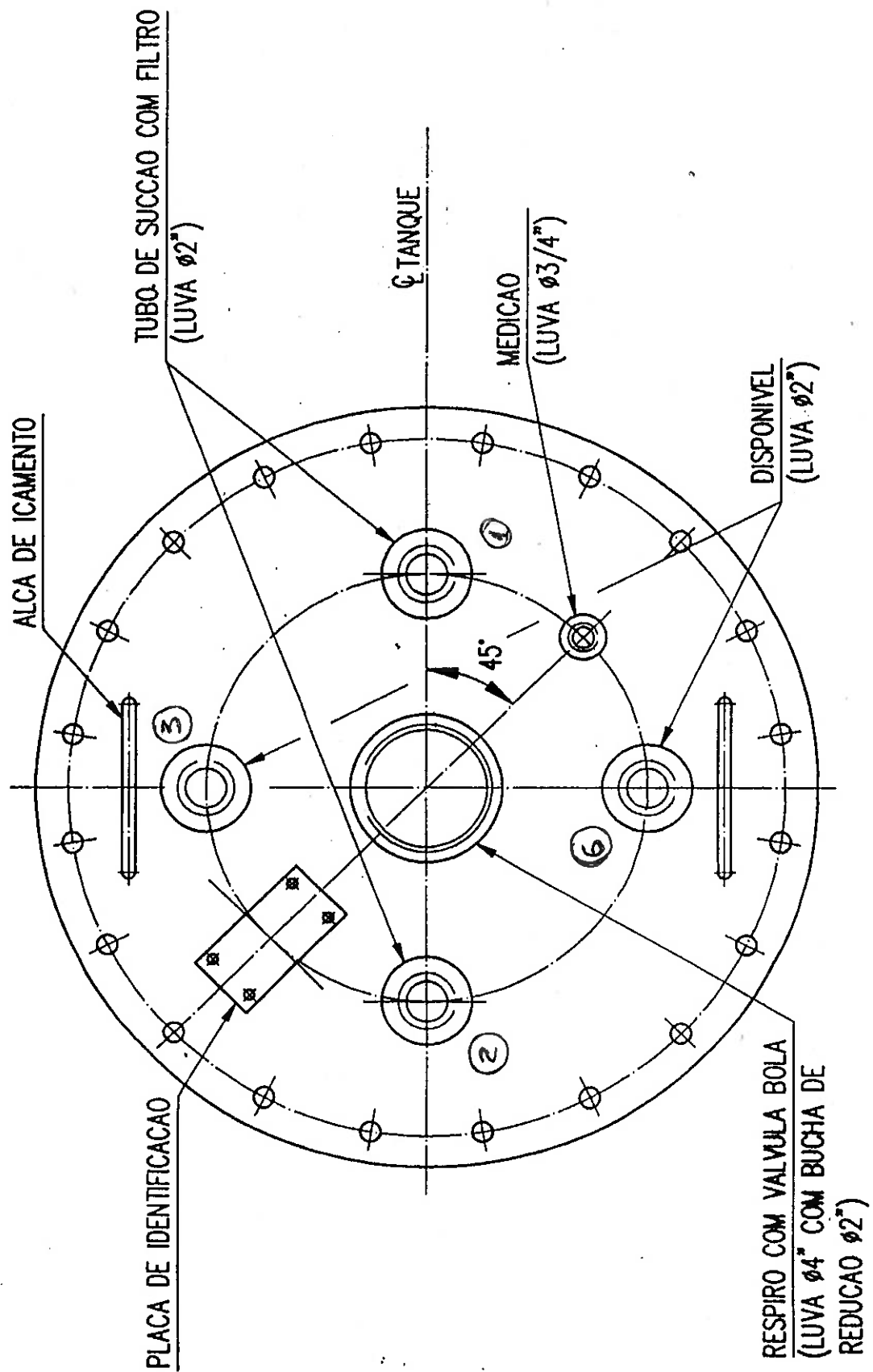


fig 3.7 a

3.7.1) Luvras

As luvras do tubo de sucção e respiro devem estar localizadas no flange da boca-de-visita, e a luva do tubo de carga localizada no costado do tanque.

As luvras são soldadas interna e externamente (ver fig. 3.7.1.b e tabela 3.7.1.a).

As roscas das luvras devem ser NPT ou BSP com 11 fios por polegada.

Tabela 3.7.1.a

Tipo	DN	ϕD	H	Material
Luva	40	63	80	ASTM A-105
Luva	50	75	88	
Luva	100	140	121	

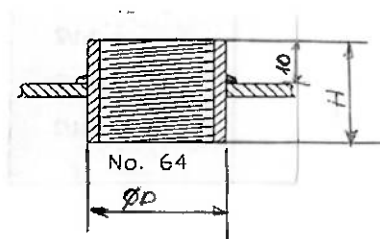


fig. 3.7.1.b

3.7.2) Anel de Reforço

O anel de reforço da luva do tubo de carga deve ser externo e ter espessura mínima de 4,76 mm e diâmetro externo mínimo de 230 mm (ver fig. 3.4.1.a).

3.7.3) Boca-de-visita

O tanque deve ter uma boca-de-visita instalada na geratriz superior do costado. Na junção com o costado, deve-se instalar uma chapa de reforço externa, com espessura de 4,76 mm e diâmetro de 1168 mm, no mínimo.

O posicionamento da boca-de-visita e do tubo de carga devem estar de acordo com a fig. 3.7.c. Seu diâmetro nominal é de 600 mm e suas dimensões conforme a fig. 3.7.3.a.

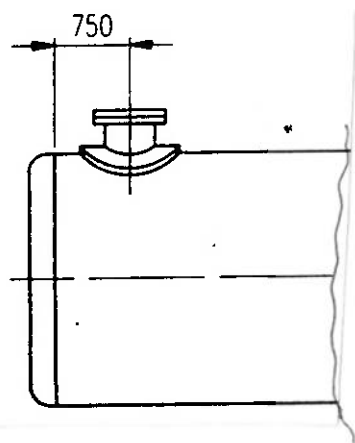


fig. 3.7.c

3.7.4) Parafusos

Os parafusos do flange da boca-de-visita, serão em número de 20 (vinte) e terão um diâmetro mínimo de 15,9 mm.

3.7.5) Tubo de carga

O tubo de carga será rosqueado na luva correspondente, com um chanfro de 45° na extremidade inferior e distâncias de 100 mm do fundo do costado (fig. 3.7.c)

3.7.6) Suporte para proteção catódica

Nos casos em que for adotado o sistema de proteção catódica galvânica, deve ser prevista a disponibilidade de supoele apropriado fixo ao tanque.

3.8) Revestimento externo

O tanque deve possuir revestimento externo adequado à proteção mecânica e contra a corrosão. O preparo da superfície do tanque deve atender à especificação do revestimento.

3.9) Pressão externa

A profundidade de aterro do tanque, ou seja, a altura entre a superfície do solo e a geratriz superior do costado, deve ter valor máximo de 3 m.

A pressão que o fundo do costado do tanque deve suportar equivale à profundidade de aterro máxima acrescida do diâmetro do tanque em m.c.a..

3.10) Tolerâncias de montagem

Deve-se seguir às seguintes especificações para valores de tolerância na montagem:

<i>Dimensões de montagem</i>	<i>Tolerâncias</i>
Distância entre linhas de tangência	$\pm 0,5$ mm por comprimento de 300 mm e no máx. 10 mm
Comprimento máx. do tanque	± 20 mm
Diâmetro externo do tanque	$\pm 5,7$ mm
Altura das bocas-de-visita em relação ao lado externo do costado	± 8 mm
Locação da linha de centro das bocas-de-visita em relação à linha de tangência	± 10 mm
Perpendicularidade da face dos flanges das bocas-de-visita em relação ao eixo destas	$\pm 1^\circ$
Desvio máximo entre a linha de centro e a boca-de-visita	10 mm
Raio interno dos tampos	- 0 e + 5 mm
Ovalização no tanque	ASME Seq. VIII Div. 1 UG-81
Off-set nas extremidades do topo do costado/costado e tampo/costado	ASME Seq. VIII Div. 1 UW-33

4 - PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO E CONTROLE DA QUALIDADE

Os procedimentos descritos se aplicam à produção em escala industrial de tanques.

4.1) Ensaaios

4.1.1) Ensaio dimensional

Deve-se possuir equipamentos para a realização de medições de valores de empeno, ovalização, bisel e ortogonalidade.

4.1.2) Ensaio não destrutivo

Na inspeção das soldas de formação do costado, inclusive as soldas entre tampos e costado, deve-se atender aos seguintes procedimentos:

- a) ensaios por raios X, ultra-som ou líquido penetrante, realizados conforme requisitos do código ASME Seção V;
- b) a extensão da solda a ser ensaiada deve obedecer à tabela 4.1.2.a e a quantidade de tanques a ser ensaiada, retirada do lote a ser entregue, deve estar conforme a tabela 4.1.2.b.
- c) os ensaios por raios X ou ultra-som não devem ser utilizados em soldas que não forem de topo.

Tabela 4.1.2.a

Processo	Espessura da Cnapa (mm)	Extensão da solda
Arco submerso	4,75 6,35	20%
Demais (eletrodo revestido, mig-mag, arame tubular)	4,75 6,35	40%

Tabela 4.1.2.b

Nº de tanques	Ensaio (%)
Até 10	100
Acima de 10	10 (sendo no mínimo 10 tanques)

4.1.3) Ensaio mecânico

Para cada lote de 100 costados ou fração deste, deve-se soldar uma placa de aço de 300 mm x 300 mm, com o mesmo material do costado, mesmo procedimento, mesmo equipamento, e realizar ensaios mecânicos da junta soldada, visando à comprovação do atendimento aos requisitos contidos na qualificação.

Os corpos de prova devem estar de acordo com a NBR 9797.

4.1.4) Ensaio de vazamento

Todos os tanques produzidos devem ser submetido a ensaios para detecção de vazamento com ar ou água.

Os possíveis métodos a serem utilizados no ensaio são os seguintes:

- a) aplicar pressão interna de ar e verificar os cordões de solda, utilizando água de sabão. A pressão de ensaio deve ser de 34 kPa a 68 kPa.
- b) encher completamente o tanque com água e aplicar uma pressão mínima de 34 kPa, durante o ensaio. A pressão deve ser mantida num intervalo de tempo suficiente que permita o exame de todas as juntas soldadas.

4.2) Aceitação e rejeição

4.2.1) Ensaio não destrutivo

Os critérios de aceitação devem ser aqueles descritos no código ASME Seção VIII, Divisão 1, UW 52, apêndice 8 ou 12, conforme o ensaio aplicado.

No caso de detecção de defeitos, a extensão da solda ensaiada conforme 4.1.2 deve ser delimitada. Em seguida ensaiar 10% desta, em cada um de seus extremos, adotando-se os critérios de aprovação a seguir:

- a) se as extensões de solda adicionais forem aprovadas, a extensão tomada por aqueles defeitos deve ser reparada por soldagem, reinspecionada e, sendo aprovada, toda a solda deve ser considerada aprovada;
- b) se as extensões de solda adicionais apresentarem defeitos, devem ser ensaiados adicionais de 10% em cada extremo até que 50% da extensão da solda seja ensaiada. Persistindo a ocorrência de defeitos, quando se alcançarem 50% de extensão da solda ensaiada, deve-se completar o ensaio em 100% da solda, reparar toda a região defeituosa e reinspecioná-la;
- c) ocorrendo a situação do item (b), para as demais soldas do lote dos tanques a inspecionar, deve-se duplicar a extensão de solda a ser ensaiada, conforme a tabela 4.1.2.a.

4.2.3) Ensaio mecânico

Deve-se utilizar os critérios da NBR 9797 para aprovação ou rejeição dos corpos de prova de ensaio de produção, conforme 4.1.3.

4.2.4) Ensaio de vazamento

Durante o ensaio, verificando-se vazamento, o tanque deve ser reparado por soldagem e reensaiado.

Defeitos de soldagem devem ser removidos pelo método de goivagem ou lixadeira por um ou ambos os lados da junta, conforme requerido.

5 - PROCEDIMENTOS PARA O DIMENSIONAMENTO

5.1) Capacidade volumétrica

A capacidade para tanques cilíndricos em litros por metro de comprimento é dada pela seguinte tabela:

<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Litros por metro de comprimento</i>
600	282,7
700	384,8
800	502,7
900	636,2
1000	785,4
1100	958,2
1200	1131,0
1300	1327,3
1400	1539,4
1500	1767,2
1600	2010,6
1700	2269,8
1800	2544,7
1900	2835,3
2000	3141,6
2100	3463,6
2200	3801,3
2300	4154,8
2400	4523,9
2500	4908,8
2600	5309,3
2700	5725,6
2800	6157,5
2900	6605,2
3000	7068,6

A capacidade total efetiva do tanque fabricado não poderá ser menor que a sua capacidade nominal ou maior que 105% da capacidade nominal.

A capacidade deve ser determinada ao nível da abertura mais baixa no costado, com o tanque na posição instalada final.

5.2) Espessura das chapas

5.2.1) Ensaio de verificação da resistência à pressão externa

O tanque construído para ensaio deve ser instalado num dispositivo que facilite sua submersão em água mas cuja estrutura de suporte não adicione tensões de tração ou compressão ao fundo do tanque a ser ensaiado. Para tal dispositivo adotou-se um berço que apenas apóia a parte superior do tanque e duas cintas, colocadas próximas às extremidades do tanque, que estão apoiadas sob sua geratriz inferior e presas firmemente ao berço na parte superior. O berço é, então fixado à borda da vala de testes, mantendo o tanque submerso a uma profundidade de 1,52 m ou maior, de acordo com a profundidade de aterro especificada na fabricação. Adiciona-se água à vala até a profundidade de submersão especificada e mantém-se o tanque nestas condições por 1 hora.

O tanque não deve amassar, colapsar, implodir ou defletir mais de 5% de seu diâmetro.

5.2.2) Cálculo da espessura

A espessura mínima admitida para o costado do tanque é de 3.12 mm e para o tampo é dada pela seguinte tabela:

<i>Diâmetro do tanque (m)</i>	<i>Espessura mínima do tampo (mm)</i>
até 1,62	3,12
1,63 até 2,28	4,24
2,29 até 3,20	6,10
3,21 até 3,66	7,67

O tanque deverá atender à equação de Roark descrita a seguir ou ao teste de pressão externa descrito em 5.2.1.

Quando o teste de pressão externa é conduzido com sucesso, a espessura mínima de chapa é reduzida em 25% daquela calculada usando-se a equação de Roark, para o mesmo comprimento e diâmetro.

5.2.2.1) Equação de Roark

A pressão calculada pela equação de Roark deverá ser igual ou maior que a pressão externa no fundo de um tanque circundado por água e submerso a 1,52 m ou profundidade maior especificada como máxima nominal para o tanque em questão. A pressão de flexão será calculada pela seguinte expressão:

Equação de Roark:
$$P = \left[\frac{0.807 \cdot E_s \cdot t_s^2}{L \cdot r} \right] \times \left[(1 - u^2)^{-3} \cdot \left(\frac{t_s}{r} \right)^2 \right]^{0.25}$$

onde:

- P é a pressão de flexão;
- E_s é o módulo de elasticidade do aço ($29,5 \times 10^6$ psi para aço carbono estrutural A36);
- t_s é a espessura da chapa de aço do tanque (polegadas);
- L é o comprimento do tanque (polegadas);
- r é o raio do tanque (polegadas);
- u é o coeficiente de Poisson (0,287 para aço carbono estrutural A36).

Usando-se a fórmula de Roark, a espessura mínima de chapa ($t_{s\min}$) ou o comprimento máximo do tanque (L_{\max}) podem ser calculados usando-se as seguintes equações, respectivamente:

$$t_{s \min} = \left[\frac{(P_1 \cdot L \cdot r^{3/2} \cdot (1 - u^2)^{3/4})}{(0.807 E_s)} \right]^{0.4}$$

ou

$$L_{\max} = \left[\frac{0.807 E_s \cdot t_s^2}{P_1 \cdot r} \right] \times \left[(1 - u^2)^{-3} \cdot \left(\frac{t_s}{r} \right)^2 \right]^{0.25}$$

onde

- P_1 é a pressão externa calculada no fundo de um tanque submerso em água (psi). A profundidade da água é de 1,52 m ou a profundidade máxima de aterro para o tanque, o que for maior, mais o diâmetro do tanque.

⇒ O cálculo da espessura da chapa utilizada encontra-se no **APENDICE 1**

5.3) Dimensionamento das alças de içamento e guia

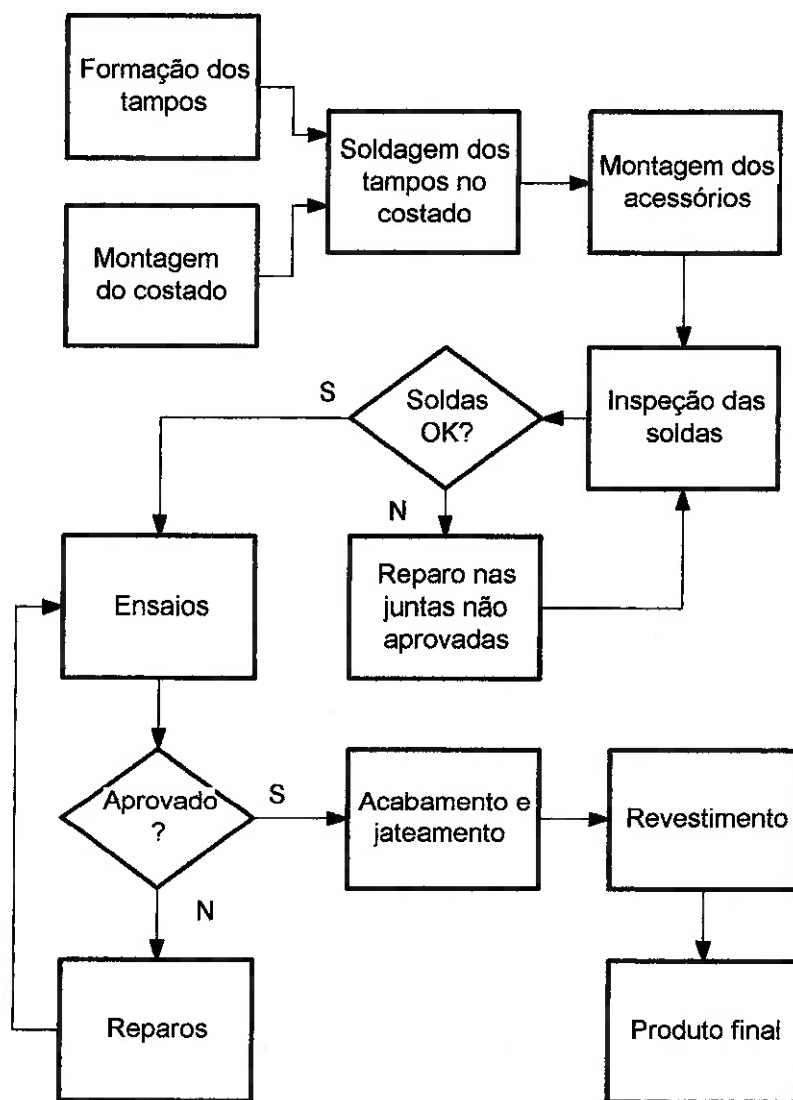
As alças de içamento devem suportar duas vezes o peso do tanque vazio e o teste de resistência deve ser feito duas vezes, mantendo-se o tanque suspenso por 1 segundo em cada uma das vezes. Após o ensaio de resistência deve-se verificar a ocorrência de deformações no tanque e submetê-lo a um teste de estanqueidade com 5 psi.

As alças guia são ponteadas nos tampos, não havendo compromisso de resistência. Suas dimensões são as da fig. 3.4.2.b.

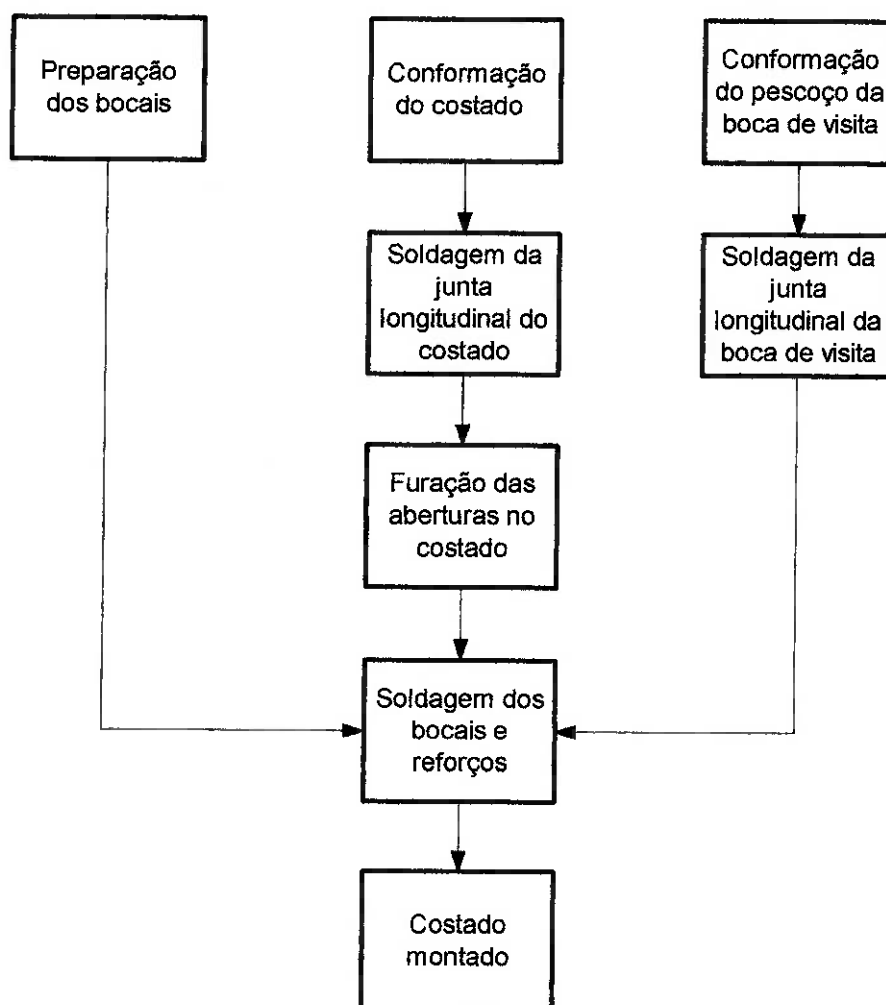
⇒ O dimensionamento das alças se encontra no **APÊNDICE**

OBS:

Características construtivas dos demais componentes dispensam cálculos específicos para dimensionamento, possibilitando a seleção segundo as normas já citadas e possuindo dimensões especificadas nas figuras ilustrativas já mostradas.

6 - SEQUÊNCIA DE FABRICAÇÃO

6.1) Montagem do Costado



6.2) Fabricação do Costado

O costado é fabricado, conforme especificação, em chapas de aço-carbono ASTM A 570 Grau 36 conformadas a frio. Terá diâmetro interno de 1910 mm e comprimento de 5400 mm, e será obtido a partir de chapa de 4,75 mm de espessura. Desenvolvendo o costado obtém-se:

Comprimento da Chapa: $\pi \cdot (1910 + 4,75) = 6015,36 \text{ mm}$

Largura da chapa: 5400 mm

O costado será constituído por apenas um anel, com uma única solda longitudinal.

O processo utilizado para a conformação do costado é o da calandragem a frio, em uma calandra piramidal. Antes da calandragem, a chapa é deformada nas extremidades para que estas adquiram um raio de curvatura de 955 mm.

Após a calandragem procede-se a soldagem longitudinal da junta do costado e após a soldagem procede-se novamente a calandragem do costado para garantirem-se as tolerâncias de cilindridade.

6.3) Fabricação do pescoço da boca de visita

A fabricação do pescoço da boca de visita segue o mesmo procedimento de fabricação do costado diferindo pelas dimensões da chapa, que são calculadas pelas dimensões da boca de visita (ver fig. 3.7.3.a).

Comprimento da chapa: $\pi \cdot (762 + 4,75) = 2408,82 \text{ mm}$

Largura da chapa: 150 mm

6.3) Fabricação dos tampos

Os tampos são fabricados pelo recorte circunferencial de chapa de 4,75 mm de espessura e diâmetro de 2120 mm. A borda do disco é calandrada até que 100 mm do disco estejam formando um ângulo de 90° com o corpo do disco.

6.4) Geometria das juntas soldadas

A geometria das juntas soldadas segue indicação da AWS (*American Welding Society*). As juntas pré-qualificadas pela AWS para penetração total são mostradas abaixo:

No processo de eletrodo revestido, tem-se , para a junta qualificada acima:

- Designação da junta: B-U2;
- Espessura do metal base (T1): ilimitado;
- Geometria da junta
 - Abertura de raiz: $R = 0$ a $1/8$;
 - Face da raiz: $f = 0$ a $1/8$;
 - Ângulo do chanfro: $\alpha = 60^\circ$;
- Tolerâncias
 - Detalhamento
 - R : $+1/16$, -0 ;
 - f : $+1/16$, -0 ;
 - α : $+10^\circ$, -0° ;
 - Montagem
 - R : $+1/16$, $-1/8$;
 - f : não limitado;
 - α : $+10^\circ$, -5° ;

Conforme a junta pré-qualificada B-U2, a geometria da junta longitudinal do costado e da junta dos tamos com o costado será, conforme mostrado abaixo:

7 - PROTEÇÃO EXTERNA DO TANQUE

7.1) Preparação da superfície

7.1.1) Jateamento e limpeza

O substrato que será jateado deve ser isento de graxas e óleos, e as linhas de solda do substrato devem ser desbastadas para eliminar cantos vivos, não precisando ser niveladas.

O nível de acabamento mínimo deve ser de metal quase branco, grau SA 2 ½, conforme NBR 7348.

Após o jateamento, o substrato a ser protegido, que é a superfície externa do tanque, deve estar livre de graxa, óleo ou outros materiais.

A proteção escolhida deve ser aplicada antes que ocorra sinal visível de oxidação na superfície, caso contrário o tanque deve ser novamente jateado. Deve-se evitar o acúmulo de poeira na superfície a ser revestida.

7.2) Proteção por barreira

A proteção por barreira deve impermeabilizar, isolar e proteger a superfície externa do tanque de aço e suas tubulações contra a corrosão, associada ou não à proteção catódica.

A umidade relativa do ar deve ser especificada para cada sistema de proteção e a temperatura do substrato deve estar acima do ponto de orvalho.

Quanto ao revestimento, as proteções por barreira podem ser classificadas da seguinte forma:

- epóxi fenólico;
- epóxi;
- epóxi alcatrão de hulha reforçada;
- epóxi reforçado com fibras de vidro;
- poliéster ou vinilester com fibras/escamas de vidro;
- poliuretano.

7.3) Proteção catódica

⇒ ver **APÊNDICE 3**

7.4) Ensaio de qualificação do revestimento

- Resistência à flexão:

A resistência à flexão do revestimento escolhido deve ser determinada conforme a ASTM D 2794.

- Resistência ao impacto:

Deve estar de acordo com a ASTM D 790M.

- Resistência química:

A proteção por barreira escolhida deve resistir no mínimo aos seguintes combustíveis:

- a) AEHC (álcool etílico hidratado carburante) aditivado ou não;
- b) água salgada até 20% de cloreto de sódio;
- c) gasolina com teores de até 30% de etanol ou metanol, aditivados ou não;
- d) metanol;
- e) óleo diesel aditivado ou não;
- f) querosene.

Obs: Aditivos utilizados no mercado: MTBE, tolueno, xileno, AEAC, AEHC.

- Tensão de aderência:

A proteção por barreira escolhida deve possuir uma tensão de aderência ao aço medida com base na ASTM D 4541 para revestimento ou NBR 11003 para pintura.

- Dureza:

A dureza do revestimento deve ser medida conforme a NBR 9629, não sendo aplicável para pintura devido à sua baixa espessura;

- Resistência dielétrica

Deve ser determinada de acordo com a ASTM D 149.

Deve-se proceder um ensaio visual para a detecção de possíveis defeitos, como: impregnação de abrasivo e/ou materiais estranhos; bolhas; fissuras.

A espessura deve ser verificada com medidor de espessura de camadas e a dureza do revestimento deve ser medida conforme NBR 9629.

Falhas no revestimento devem ser verificadas utilizando-se o aparelho do tipo *holiday detector* de eletrodo com mola ou escova.

As voltagens de operação devem ser aplicadas de acordo com a NACE RP 01-88, devendo-se utilizar a tensão de 3kV/mm.

O aparelho deve deslocar-se sobre a proteção aplicada, a uma velocidade máxima de 300 mm/s e qualquer falha na proteção será acusada por um sinal sonoro característico, onde esta deve ser marcada, reparada e novamente ensaiada.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN WELDING SOCIETY. *Structural Welding Code - Steel*. Miami, 1986. D1.1
2. AMERICAN WELDING SOCIETY. *Specification for Covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes*. Miami, 1981. A5.1.
3. OKUMURA, TOSHIE; TANIGUSHI, CÉLIO. *Engenharia de Soldagem e Aplicações*. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1982.
4. SUMARÉ INDÚSTRIA QUÍMICA. *Introdução à Proteção Anticorrosiva*. São Paulo, s.d.
5. CARY, HOWARD B. *Modern Welding Technology*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, s.d.
6. USIMINAS - SIDERBRÁS. *Soldagem - fascículo de informação técnica*. s.d.
7. USIMINAS - SIDERBRÁS. *Corrosão atmosférica - fascículo de informação técnica*. s.d.
8. IEC - INSTALAÇÕES E ENGENHARIA DE CORROSÃO LTDA. *Sistemas de Proteção Catódica*. s.d.
9. AMSTEAD, B. H.; OSTWALD, PHILLIP F.; BEGEMAN, MYRON L.; *Manufacturing Process*. John Wiley & Sons, New York, 1986.
10. ABNT. *Construção de tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono*. Rio de Janeiro, 1995.
11. ABNT. *Tanques subterrâneos de resina termofixa reforçada com fibra de vidro, para armazenamento de combustíveis líquidos em postos de serviço*. Rio de Janeiro, 1997.
12. ABNT. *Proteção catódica para sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SAC) em posto de serviço*. Rio de Janeiro, 1997.
13. ABNT. *Sistema de proteção externa para tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono e suas tubulações para postos de serviço*. Rio de Janeiro, 1997.
14. UNDERWRITERS LABORATORIES INC. (UL). *Steel Underground Tanks for Flammable and Combustible Liquids*. Northbrook, 1996.

15. CONFAB TUBOS S.A.. *Apostila informativa - A importância da Corrosão*. São Paulo, s.d.
16. STEEL TANK INSTITUT. *Standard for dual wall underground steel storage tanks*. s.d.
17. STEEL TANK INSTITUT. *Specification and Manual for External Corrosion Protection of Underground Steel Storage Tanks*. Lake Zurich, 1996.
18. NACE INTERNATIONAL. *Control of External Corrosion on Metallic Buried, Partially Buried, or Submerged Liquid Storage Systems, NACE Recommendations practice*, 1992.
19. STEEL TANK INSTITUT. *Installation Instructions for ACT-100 FRP Composite Steel Underground Storage Tanks with Checklist, STI*. 1991.

APÊNDICE 1 - Cálculo da espessura das chapas

Pelo item 3.1 das especificações técnicas temos os seguintes valores para o tanque projetado:

- Capacidade nominal: 15000 L
- Diâmetro interno (ϕ_{int}): 1910 mm
- Comprimento do costado: 5400 mm
- Espessura nominal do tampo e do costado (e): 4,75 mm

Pelo item 3.9 das especificações técnicas a profundidade máxima de aterro da geratriz superior do tanque (f) é de 3 m, ou seja, a geratriz inferior do costado estará a uma profundidade de aproximadamente:

$$H = f + 2.e + \phi_{int}$$

$$H = 3000 + 2 \times 4,75 + 1910$$

$$H = 4919,5 \text{ mm}$$

A favor da segurança, adotemos $H = 5000 \text{ mm}$.

A pressão que age sobre o fundo de um tanque submerso em água nas condições acima descritas é de

$$5 \text{ m.c.a.}$$

que equivalem a

$$3,52 \text{ psi.}$$

Utilizando a fórmula de cálculo da espessura mínima obtida a partir da equação de Roark:

$$t_{s \min} = \left[\frac{(P_1 \cdot L \cdot r^{3/2} \cdot (1 - u^2)^{3/4})}{(0.807 E_s)} \right]^{0.4}$$

onde:

- P_1 é a pressão externa calculada no fundo de um tanque submerso em água (psi). A profundidade da água é de 1,52 m ou a profundidade máxima de aterro para o tanque, o que for maior, mais o diâmetro do tanque.

- E_s é o módulo de elasticidade do aço ($29,5 \times 10^6$ psi para aço carbono estrutural A36);
- t_s é a espessura da chapa de aço do tanque (polegadas);
- L é o comprimento do tanque (polegadas);
- r é o raio do tanque (polegadas);
- u é o coeficiente de Poisson (0,287 para aço carbono estrutural A36).

Temos:

$$t_{s \min} = \left[\frac{\left(3,52 \times 220,50 \times 37,79^{3/2} \times (1 - 0,287^2)^{3/4} \right)}{(0,807 \times 29,5 \times 10^6)} \right]^{0,4}$$

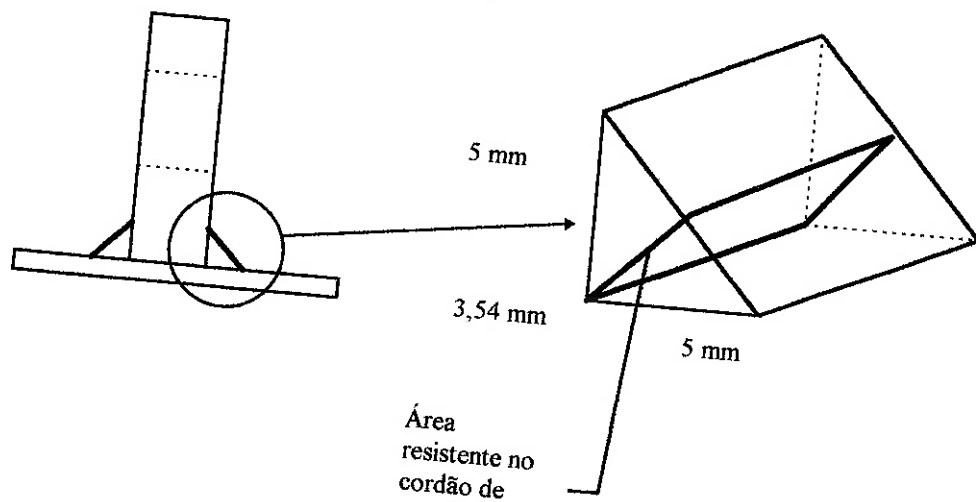
$$t_{s \min} = 0,14 \text{ in}$$

$$t_{s \min} = 3,51 \text{ mm}$$

Como havíamos adotado a espessura de 4,75 mm, e verificou-se que este valor é superior ao exigido pela equação de Roark (3,51 mm), adotaremos como espessura das chapas:

$$t = 4,75 \text{ mm}$$

APÊNDICE 2 - Dimensionamento das alças de içamento



Considere-se a alça de içamento conforme fig. 3.4.2.a.

Na alça de içamento, a área total resistente dos cordões de solda deve suportar a carga especificada, portanto a área total resistente das duas alças deve resistir a duas vezes o peso do tanque vazio.

- Peso do tanque vazio aproximado: $1650 \text{ Kgf} = 16500 \text{ N}$;
- Área resistente total de uma alça: $8,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 849,6 \text{ mm}^2 = 2 \cdot (100+20) \times 3,54$;
- Eletrodo utilizado: SA - 516 grau 60 (Tensão mín. de escoamento = 220 MPa);

Como temos duas alças de içamento, cada uma deve suportar o equivalente ao peso total do tanque vazio.

$$T = 16500 / 8,5 \times 10^{-5}$$

$$T = 194,12 \text{ MPa} < 220 \text{ MPa}$$

As alças guia não têm compromisso de resistência. São apenas ponteadas nos tampos e seu dimensionamento é baseado na fig. 3.4.2.b.

APÊNDICE 3 - PROTEÇÃO CATÓDICA

Os tanques enterrados precisam sempre ser protegidos catodicamente, a não ser que estejam localizados em solos com resistividade elétrica muito alta.

Sob o ponto de vista econômico, o custo do controle da corrosão é sempre bem menor que os custos de manutenção e lucros cessantes ocasionados por parada do tanque devido a problemas com corrosão. Além disso o custo relativo à degeneração do meio ambiente, quando da ocorrência de vazamentos de combustível em razão da corrosão, vem ganhando grande importância.

Tanques enterrados são protegidos com anodos galvânicos, quando a resistividade elétrica do solo é menor que 6000 ohm.cm, e com sistemas por corrente impressa quando a resistividade elétrica do solo for mais alta.

A proteção galvânica externa de tanques pode ser feita individualmente, consistindo da ligação direta de ânodo ou leito de anodos. Os anodos usados são de magnésio ou zinco, dependendo da resistividade elétrica do solo.

A proteção por corrente impressa é utilizada normalmente para grupos de tanques.

Adota-se a proteção dirigida apenas aos tanques quando se torna necessário o isolamento dos tanques das demais estruturas vizinhas. Este procedimento é importante quando há grande quantidade de estruturas enterradas próximas aos tanques e que não se deseja proteger.