

Teste hidrostático em Tanques de Armazenamento existentes

1. Introdução

Tanques de armazenamento são equipamentos estáticos, sujeitos à pressão interna, aproximadamente, atmosférica e destinados, frequentemente, ao armazenamento de petróleo e seus derivados.

O presente trabalho aborda tanques de armazenamento atmosféricos ou de pequena pressão interna, cilíndricos, verticais, não enterrados, de fabricação soldada e construídos com chapas de aço Carbono, Inoxidável e Alumínio, encontrados em refinarias de petróleo, petroquímicas, terminais, bases de distribuição, termoelétricas, indústrias química, etc..

Esses tanques são projetados e construídos conforme a Norma API Std 650 *Welded Steel Tanks for Oil Storage*, do API-American Petroleum Institute.

Quando os tanques de armazenamento são fabricados e montados, eles devem ser testados, para a comprovação da integridade física, de acordo com o padrão pelo qual são construídos.

O teste requerido pela Norma API Std 650, para tanques novos, é o de pressão hidrostática, que visa detectar possíveis vazamentos e verificar a resistência mecânica do tanque, antes da entrada em serviço.

Os tanques de armazenamento atmosférico e os que suportam uma pequena pressão interna (projeto conforme Norma API Std 650 *Annex F Design of Tanks for Small Internal Pressures*) são testados enchendo-os com água, dessa forma as partes de um tanque são testadas a uma pressão estática, que depende da altura do nível de água, quando são verificados possíveis vazamentos pelo costado, sendo os vazamentos pelo fundo detectados visualmente, se o fluido de teste escoar para fora do perímetro da base do tanque.

Para os tanques existentes que já operaram, quando entram em manutenção, a integridade dos reparos e alterações executados requer também que seja realizado um outro teste hidrostático, antes do início da operação, conforme os ditames da Norma API Std 653 *Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction*.

No entanto, a mesma Norma API Std 653 permite a isenção ou não realização do teste hidrostático, quando os reparos/alterações são realizados com procedimentos de execução e controles específicos, definidos pela própria norma.

2. Referências consultadas

2.1. Normas Petrobras

- **N-270** Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico

Esta Norma fixa as condições para o projeto mecânico de tanque de superfície, para armazenamento atmosférico de petróleo, seus derivados líquidos e outros produtos líquidos, tais como: álcool, biodiesel, produtos químicos, água e outros.

Esta Norma complementa a Norma API Std 650.

Esses tanques são metálicos, de fabricação e montagem soldada, cilíndrico-verticais, de um dos seguintes tipos:

- a) teto fixo: conforme API Std 650, projeto segundo “Corpo de Norma” ou “Annex” F;
- b) teto flutuante externo: conforme API Std 650, “Annex” C;
- c) teto fixo com flutuante interno: conforme API Std 650, “Annex” H;
- d) cobertura geodésica (domo em Alumínio estruturalmente suportado) de teto flutuante: conforme API Std 650, “Annex” G;
- e) sem teto: conforme API Std 650, segundo o “Corpo de Norma”.

Os tanques são usados para serviços não refrigerados, armazenando produto na temperatura ambiente ou produto aquecido até a temperatura máxima de 260°C.

A pressão interna deve ser aproximadamente igual à atmosférica no topo do tanque. Admite-se uma pequena pressão manométrica interna de até 18,0 kPa (2,5 psi), superior à atmosférica, para tanque projetado conforme a API Std 650, “Annex” F *Design of Tanks for Small Internal Pressures*, e de até 6,9 kPa (1,0 psi), inferior à atmosférica, para tanque projetado conforme a API Std 650, “Annex” V *Design of Storage Tanks for External Pressure*.

- **N-2318** - Inspeção em Serviço de Tanque de Armazenamento Atmosférico

Esta Norma fixa as condições exigíveis para a inspeção em serviço de tanques de armazenamento atmosférico cobertos pela Petrobras N-270.

Esta Norma não se aplica a: a) tanques refrigerados; b) tanques não metálicos; c) tanques em plataformas “offshore”; d) tanques de costado não circular.

- **N-271** - Montagem de Tanques de Armazenamento

Esta Norma fixa as condições exigíveis para a montagem de tanques de armazenamento atmosférico, montados conforme a API Std 650 e complementados por esta Norma.

- **N-1807** - Medição de Recalque de Fundações no Teste Hidrostático de Equipamentos

Esta Norma fixa as condições exigíveis na medição de recalques de fundações no teste hidrostático de equipamentos.

Nota:

Petrobras - Normas Técnicas Públicas

<https://canalfornecedor.petrobras.com.br/pt/regras-de-contratacao/catalogo-de-padronizacao/#especificacoes-tecnicas>

- 2.2. **Norma ABNT NBR 7505 - 1** Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis Parte 1: Armazenagem em tanques estacionários

Esta parte da NBR 7505 fixa as condições exigíveis para projetos de instalações de armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis contidos em tanques estacionários com capacidade superior a 250 L, à pressão manométrica igual ou inferior a 103,4 kPa (15 psig), medida no topo do tanque.

- 2.3. **Normas API**

- **API Std 650** - Welded Tanks for Oil Storage

Esta Norma estabelece os requisitos mínimos para material, projeto, fabricação, montagem e teste para tanques de armazenamento soldados verticais, cilíndricos, acima do solo, fechados e abertos, em vários tamanhos e capacidades para pressões internas próximas da pressão atmosférica (pressões internas que não excedam a peso das placas do teto), mas uma pressão interna mais alta é permitida quando os requisitos adicionais do Anexo Annex F- *Design of Tanks for Small Internal Pressures* são atendidos.

Esta Norma aplica-se apenas a tanques cujo fundo inteiro é suportado uniformemente e a tanques em serviço não refrigerado que tenham uma temperatura máxima de projeto de 93°C (200°F), porém o Anexo Annex M - *Requirements for Tanks Operating at Elevated Temperatures* apresenta requisitos adicionais para tanques com temperatura máxima superior a 93°C (200°F), mas não superior a 260°C (500°F).

São abordados os tanques dos tipos:

- a) teto fixo: projeto como “Corpo de Norma” ou “Annex” F;
- b) teto flutuante externo: conforme “Annex” C;
- c) teto fixo com flutuante interno: conforme “Annex” H;
- d) cobertura geodésica (domo em alumínio estruturalmente suportado) de teto flutuante: conforme “Annex” G;
- e) sem teto: conforme “Corpo de Norma”.

- **API Std 653** - Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction

Este padrão abrange tanques de armazenamento de aço construídos de acordo com a Norma API Std 650 e sua predecessora API Std 12C *Specification for Welded Oil Storage Tanks*

Ele fornece requisitos mínimos para manter a integridade desses tanques depois de colocados em serviço e aborda inspeção, reparo, alteração, realocação e reconstrução.

O escopo é limitado à fundação do tanque, fundo, costado, estrutura, teto, acessórios e bocais.

Os requisitos de projeto, soldagem, exame e de material da Norma API Std 650 podem ser aplicados na inspeção de manutenção, reparo, alteração e testes de tanques em serviço.

Esta norma emprega os princípios da API Std 650; no entanto, se pode aplicar esta norma a qualquer tanque de aço construído de acordo com uma especificação de tanque.

- **API RP 575** - Inspection of Atmospheric & Low-Pressure Storage Tanks

Esta norma fornece informações úteis e práticas recomendadas para manutenção e inspeção de tanques de armazenamento atmosférico e de baixa pressão. Embora essas diretrizes de manutenção e inspeção possam aplicar-se a outros tipos de tanques, essas práticas destinam-se principalmente a tanques existentes que foram construídos por um dos quatro padrões a seguir: API Std 12A, API Spec 12C, API Std 620 e API Std 650.

Esta prática recomendada destina-se a complementar a Norma API Std 653, que fornece requisitos mínimos para manter a integridade dos tanques de armazenamento, depois de colocados em serviço, e aborda o seguinte:

- a) descrições e ilustrações dos vários tipos de tanques de armazenamento;
- b) novos padrões de construção de tanques;
- c) práticas de manutenção;
- d) motivos da fiscalização;
- e) causas de deterioração;
- f) frequência de inspeção;
- g) métodos de inspeção;
- h) inspeção de reparos;
- i) preparação de registros e relatórios;
- j) operação segura e eficiente;
- k) métodos de prevenção de vazamentos.

2.4. Norma Regulamentadora

NR-13 CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO, TUBULAÇÕES E TANQUES METÁLICOS DE ARMAZENAMENTO **(www.gov.br)**

Esta Norma Regulamentadora - NR estabelece requisitos mínimos para gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento, nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção, visando à segurança e à saúde dos trabalhadores.

3. Definições

• Reparo

É o trabalho de manutenção necessário para manter ou restaurar a integridade de um tanque de armazenamento existente, a uma condição adequada para operação segura.

São trabalhos que visam limpeza, degaseificação, correção de defeitos, falhas, deteriorações, troca de componentes com corrosão/erosão acentuada, que possam afetar adversamente o desempenho ou a integridade estrutural de um tanque existente.

Os reparos incluem tanto os grandes reparos como os mais simples,

• Grande reparo

É um reparo que envolve trabalho de grande proporção ou em região crítica do tanque, que inclua qualquer uma das seguintes atividades:

- a) remoção/substituição de parte de teto, costado ou fundo, incluindo metal de solda;
- b) instalação/substituição de chapas de reforço (ou partes delas) de aberturas (bocais, bocas de visita e portas de limpeza) existentes no costado;
- c) instalar bocal no costado abaixo do nível de líquido de projeto;
- d) instalar bocal no fundo;
- e) remover/substituir ou adicionar chapa do costado, abaixo do nível de líquido de projeto;
- f) remover/substituir parte do anel da chapa anular do fundo;
- g) remoção completa ou parcial e substituição de solda vertical ou de solda circunferencial das chapas do costado, ou do anel da chapa anular do fundo;
- h) instalação de novo fundo;
- i) remoção completa ou parcial e substituição da solda de ligação entre o costado e o fundo;
- j) reparo de defeitos, como trincas, poros ou sulcos, por esmerilhamento e/ou goivagem seguido de soldagem;
- k) içamento de costado, fundo ou teto de tanque, para renivelamento e/ou execução de serviços no fundo;
- l) mudança de serviço em relação ao projeto original (novo produto, temperatura mais elevada, nível operacional diferente, densidade maior);
- m) realocação do tanque.

• Alteração

É qualquer trabalho em um tanque existente que altere suas dimensões físicas ou configuração, como troca de chapas do costado, bocais, troca de teto ou de fundo.

• Reconstrução

É o trabalho necessário para remontar um tanque que foi desmontado e realocado para um novo local.

- **Zona crítica**

É a parte do fundo do tanque ou da chapa anular dentro de 76 mm (3 pol.) da borda interna do costado, medida radialmente para dentro do tanque.

- **Sketch plates**

São as chapas da periferia do fundo do tanque, da ligação soldada costado x fundo, de formatos variados, acompanhando a circunferência do costado, cortadas de chapas retangulares.

- **Chapas anulares *annular plates***

São as chapas da periferia do fundo do tanque, da ligação soldada costado x fundo, que formam um anel de chapas com soldas de topo radiais entre as chapas.

- **Tanque atmosférico**

Tanque atmosférico é um tanque vertical projetado para operar com pressão manométrica interna, desde a pressão atmosférica até 6,9 kPa (1 psig), medida no topo do tanque.

- **Tanque de baixa pressão interna**

Tanque de baixa pressão é um tanque vertical projetado para operar com pressão manométrica interna, superior a 6,9 kPa (1 psig) até 18,0 kPa (2,5 psig), medida no topo do tanque, quando projetado conforme API Std 650, "Annex" F *Design of Tanks for Small Internal Pressures*.

- **Tanque sob vácuo**

É o tanque que opera com pressão negativa ou vácuo de até 6,9 kPa (1,0 psi), inferior à atmosférica, quando projetado conforme API Std 650, "Annex" V *Design of Storage Tanks for External Pressure*.

- **Teste Hidrostático**

Todos os tanques novos após a montagem devem ser testados hidrostaticamente.

Tanques existentes também requerem o teste hidrostático, após os trabalhos de manutenção e reparos.

- a. O teste hidrostático visa verificar a estanqueidade das soldas do costado e do fundo, a qualidade da base e da fundação do equipamento e a ocorrência de recalques.
- b. O teste hidrostático visa também, para os tanques de teto flutuante, verificar a flutuabilidade do teto e o deslocamento adequado, durante a subida e a descida.
- c. O teste hidrostático normalmente requer grande quantidade de água doce, de qualidade definida pela Norma API Std 650, cujo fornecimento deve ser previsto com antecedência.
- d. O emprego de água salgada não é recomendado, pois poderá provocar severa corrosão interna do equipamento.

- **Temperatura mínima do metal de projeto**

É a temperatura mais baixa considerada no projeto, que, a menos quando definida previamente, deve ser considerada 8°C (15°F) acima da temperatura ambiente média mais baixa na localidade onde o tanque é instalado. Esta definição não se aplica a tanque refrigerado.

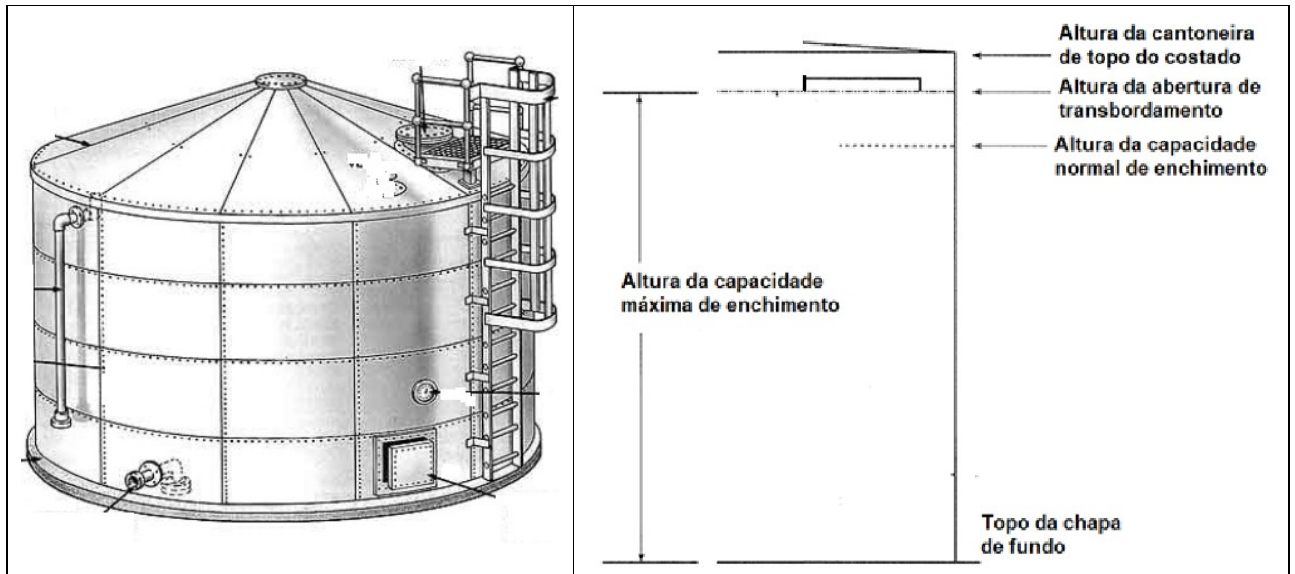
- **Porta temporária para acesso ao interior do tanque *door sheet***

É uma chapa (ou chapas) cortada e removida do costado de um tanque existente, para criar uma abertura de acesso temporário para pessoal, material, máquinas e ferramentas, durante os trabalhos de manutenção e reparos. Depois que o trabalho previsto é concluído, a(s) chapa(s) do costado deve(m) ser reinstalada(s) ou substituída(s).

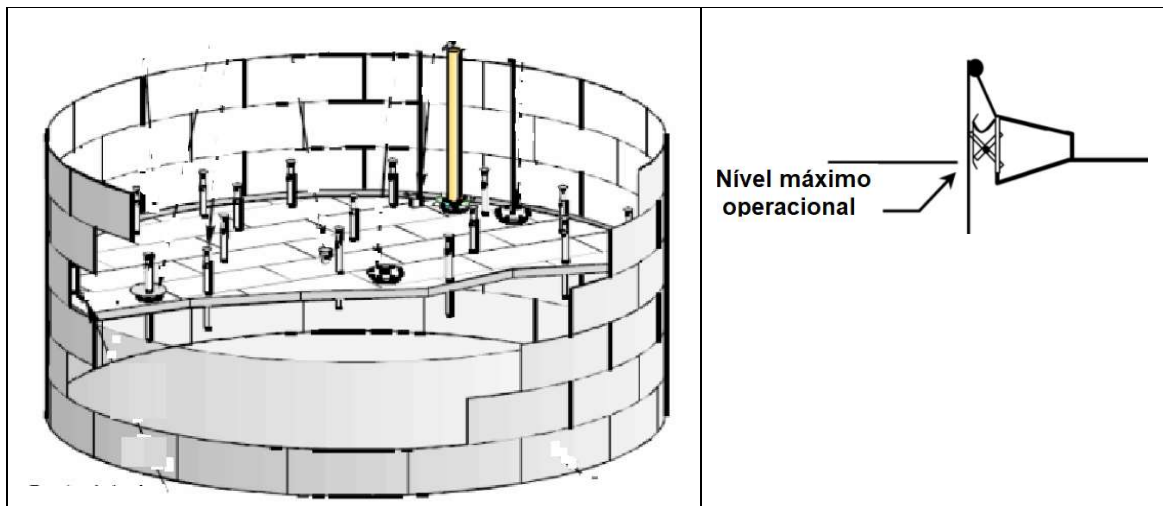
4. Teste hidrostático de tanque de armazenamento novo ou reconstruído

Para tanques novos ou reconstruídos a partir do projeto original, um teste hidrostático completo, com duração mínima de 24 horas contínuas, com água doce, após cheio até a altura máxima operacional, deve ser realizado.

- a. O enchimento com água para o teste hidrostático deve ser desde o fundo até a altura ou nível estabelecido da seguinte forma:
 - Em tanque com teto fixo, até 50 mm (2 pol.) acima da solda que conecta a cantoneira de topo do costado às chapas do teto, ou até o nível inferior às aberturas de transbordamento do tanque.
 - Para tanque de teto flutuante, até o nível máximo operacional limitado pelo teto flutuante externo ou interno.



Nível de enchimento do tanque novo de teto fixo



Nível de enchimento do tanque novo de teto flutuante

- b. No caso particular de tanque de baixa pressão interna, conforme Norma API Std 650 Annex F *Design of Tanks for Small Internal Pressures*, após a montagem completa do tanque, deve ser executado o teste hidrostático, com o preenchimento de água até o topo da cantoneira de topo do costado, e uma pressão interna de ar, conforme definida no projeto, deve ser aplicada ao espaço fechado, acima do nível da água e mantida no mínimo por 15 minutos.

Previamente, aplicar uma solução indicadora (por ex. filme de sabão ou detergente) na superfície externa das costuras de solda no costado e no teto, acima do nível do líquido.

A pressão do ar deve então ser reduzida à metade da pressão de projeto e todas as juntas soldadas acima do nível do líquido devem ser verificadas quanto a vazamentos, de modo que o ar que escapar por qualquer vazamento produza bolhas, indicando o local do vazamento.

- c. Se o tanque é de pequena pressão e for ancorado na base, depois que o tanque estiver cheio de água, até a altura máxima permitida, aplicar a pressão de ar de 1,25 vezes a pressão de projeto ao espaço fechado, acima do nível da água, durante no mínimo 15 minutos.

Previamente, aplicar uma solução indicadora (por ex. filme de sabão ou detergente) na superfície externa das costuras de solda no costado e no teto, acima do nível do líquido.

Em seguida, a pressão do ar deve ser reduzida para a pressão de projeto, e inspecionar visualmente todas as juntas soldadas quanto à estanqueidade.

Depois que a água de teste for esvaziada do tanque (e o tanque estiver à pressão atmosférica), a ancoragem deve ser verificada quanto à estanqueidade.

- d. Os respiros de alívio de pressão do tanque devem ser testados durante ou após este teste.
- e. O tanque deve ser mantido totalmente cheio d'água durante no mínimo 24 horas, enquanto são verificados possíveis vazamentos.
- f. Executar a inspeção visual do tanque, frequentemente, durante o enchimento e durante o período de teste hidrostático, verificando-se todas as juntas soldadas do costado e possível vazamento pelo fundo.
- g. No caso de teto flutuante, avaliar se a flutuabilidade é adequada e se o deslocamento, subida e descida, do teto é sem problemas.
- h. Deve ser realizado o acompanhamento de recalques ou assentamentos durante o teste hidrostático para todos os tanques.
- i. Realizar a medição e a verificação das deformações do costado, comparando com as respectivas tolerâncias dimensionais, conforme Norma API Std 650 *Section 7.5 Dimensional Tolerances*.
- j. O procedimento de realização do teste hidrostático deve ser baseado nos requisitos da Norma API Std 650 *Section 7.3.6 Hydrostatic Testing Requirements*, verificado e aprovado por engenheiro com experiência em projetos de tanques de armazenamento de acordo com a Norma API Std 650 e pelo próprio Proprietário.
- k. A pintura do tanque só deve ser realizada após a aprovação do teste hidrostático.
- l. Conectar as tubulações permanentes somente após o teste hidrostático.
- m. Prever a destinação adequada da água utilizada na realização do teste hidrostático.

5. Teste hidrostático de tanque de armazenamento existente

Depois que todos os serviços de reparos e/ou alterações requeridos no tanque (fundo, costado e teto) estão concluídos, de acordo com a Norma API Std 653 *Section 12.3.1 When Hydrostatic Testing is required*, deve ser executado um teste de pressão hidrostática, com duração mínima de 24 horas contínuas e nível de água doce até a altura máxima calculada, para os tanques atmosféricos e os de baixa pressão interna, enquadrados nos seguintes casos:

- a. Qualquer tanque que tenha sofrido grandes reparos ou alterações.
- b. Um tanque onde uma avaliação de engenharia indicar a necessidade de teste hidrostático, devido ao aumento da severidade do serviço.

Nota:

Exemplos de aumento da severidade do serviço: aumento na pressão operacional, armazenamento de produto com maior densidade, redução ou aumento da temperatura de operação e reuso de tanques que foram danificados.

Os reparos e alterações executados devem ser examinados, por métodos não destrutivos, antes da soldagem, após o passe de raiz e após o passe final, pelos métodos visual e partículas magnéticas ou líquido penetrante.

Os requisitos de execução e aceitação de ENDS-Exames Não Destrutivos, nos reparos de componentes e de juntas soldadas, são especificadas na Norma API Std 653 *Section 12 Examination and Testing*.

O procedimento de realização do teste hidrostático deve ser baseado nos requisitos da Norma API Std 650 *Section 7.3.6 Hydrostatic Testing Requirements*, complementado pelas recomendações, a seguir, verificado e aprovado por engenheiro com experiência em projetos de tanques de armazenamento de acordo com a Norma API Std 650 e pelo próprio Proprietário.

5.1. Determinação da altura máxima de enchimento para o teste hidrostático de tanque existente

Previamente, devido ao estado físico do costado, apresentando corrosão/erosão generalizada e/ou localizada, para o teste hidrostático de tanque existente, que já operou, a altura máxima de enchimento com água deve ser calculada e determinada.

Preliminarmente, durante a inspeção do tanque e antes da realização do teste hidrostático, executar as seguintes providências:

- a. Medir as espessuras remanescentes ou residuais no costado, fundo e teto do tanque, e comparar com as espessuras mínimas aceitáveis, calculadas conforme a seguir, requeridas para o uso contínuo do tanque.
- b. A espessura mínima aceitável, "t_{calc}", de cada anel de chapas do costado soldado de tanque existente, deve ser calculada de acordo o método da Norma API Std 653 *Section 4.3.3. Minimum Thickness*

Calculation for Welded Tank Shell, excluindo-se qualquer tolerância para corrosão/erosão, em que são determinadas as seguintes espessuras:

- Espessura mínima aceitável “t_{calc}”, calculada para cada anel de chapa do costado do tanque, considerando toda a superfície do anel corroída, isto é, corrosão/erosão generalizada;
- Espessura mínima aceitável “t_{calc}”, calculada para as regiões, de cada anel de chapa do costado, que apresentem corrosão/erosão localizada e acentuada.

c. Esse método é limitado aos tanques com diâmetros até 60 m (200 ft).

d. Para tanques com mais de 60 m de diâmetro, deve ser usado o método de projeto do ponto variável da Norma API 650 *Section 5.6.4 Calculation of Thickness by the Variable-Design-Point Method*.

Caso haja alguma chapa, dos anéis do costado, com espessura residual inferior a qualquer uma das calculadas, deve ser providenciada a substituição da chapa, conforme os desenhos de fabricação e montagem originais do tanque.

Após a inspeção e aprovação das espessuras remanescentes medidas no costado, ou seja, todas maiores que as calculadas, para a realização do teste hidrostático do tanque, a altura máxima do nível de água de enchimento “H_t” deve ser estabelecida, conforme a metodologia da Norma API Std 653 *Section 4.3.3.2 Hydrostatic Test Height*, mostrada a seguir, considerando-se a menor espessura medida, em cada anel de chapa do costado do tanque.

Se for necessário prever uma sobresspessura para corrosão, o valor da sobresspessura deve ser deduzido da menor espessura medida. Se a menor espessura medida for maior do que a calculada, a espessura extra pode ser considerada uma sobresspessura de corrosão.

“H_t” é limitado pelas seguintes condições e deve ser adotado o menor entre os seguintes valores: (H_t)₁ e (H_t)₂.

5.1.1. Caso de corrosão generalizada

$$(H_t)_1 = \frac{S_t E t_{\min}}{2.6D} + 1$$

(H_t)₁ em pés (ft) é a altura desde o fundo de cada anel do costado, em consideração, até o nível de água para o teste hidrostático.

t_{min} em polegadas (pol), neste caso, é a menor espessura medida, em cada anel de chapa do costado do tanque, considerando toda a superfície do anel.

Nota:

t_{min} deve ser maior que t_{calc}

5.1.2. Caso de corrosão localizada

$$(H_t)_2 = \frac{S_t E t_{\min}}{2.6D}$$

(H_t)₂ em pés (ft) é a altura desde a base da região de espessura mais severamente corroída/erodida, em cada anel do costado, até o nível de água para o teste hidrostático.

t_{min} em polegadas (pol), neste caso, é a menor espessura medida, em cada anel de chapa do costado do tanque, nas regiões que apresentem redução localizada de espessura.

Nota:

t_{min} deve ser maior que t_{calc}

As demais variáveis das expressões são:

D em pés (ft) é o diâmetro nominal do tanque,

E é a eficiência do projeto original de junta soldada do tanque, usar a Tabela Table 4.2 *Joint Efficiencies for Welded Joints*, da Norma API Std 653, se o E original for desconhecido.

Usar $E = 1,0$ quando a espessura mínima da chapa corroída/erodida medida estiver afastada de qualquer junta soldada, pelo menos 1 pol. ou duas vezes a espessura nominal da chapa, adotar o maior valor.

St é a tensão de teste hidrostática máxima permitida em lbf/in^2 .

- Para o 1º e 2º anéis do costado, usar o menor valor entre $0,88Y$ ou $0,472T$;
 - Para os demais anéis do costado, usar o menor valor entre $0,9Y$ ou $0,519T$.
- Y - tensão de escoamento mínima especificada para o material de construção
T - tensão de ruptura mínima especificada para o material de construção

Se “Ht” for menor que o nível máximo de líquido do projeto original ou altura operacional do tanque, o Proprietário deve ser alertado, para avaliar as consequências e a aceitabilidade de operar o tanque nessa condição, ou providenciar os reparos necessários para restaurar a condição de projeto do tanque.

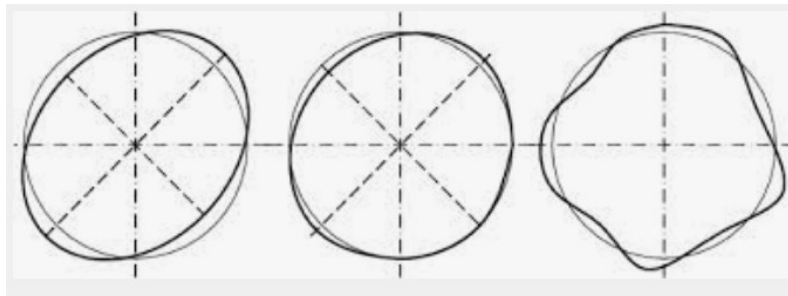
Caso não haja possibilidade de enchimento total do tanque, realizar ensaio de estanqueidade de todas as soldas do costado, nas regiões que não foram submetidas ao teste hidrostático, com caixa de vácuo e solução indicadora de bolhas.

5.2. Providências requeridas para a execução do teste hidrostático

Falhas, deterioração ou outras condições, que possam afetar adversamente o desempenho ou a integridade estrutural do costado de um tanque existente, devem ser inspecionadas e reparadas, conforme descrito na Norma API Std 653 *Section 12 Examination and Testing*.

Providências preliminares requeridas para a realização do teste hidrostático:

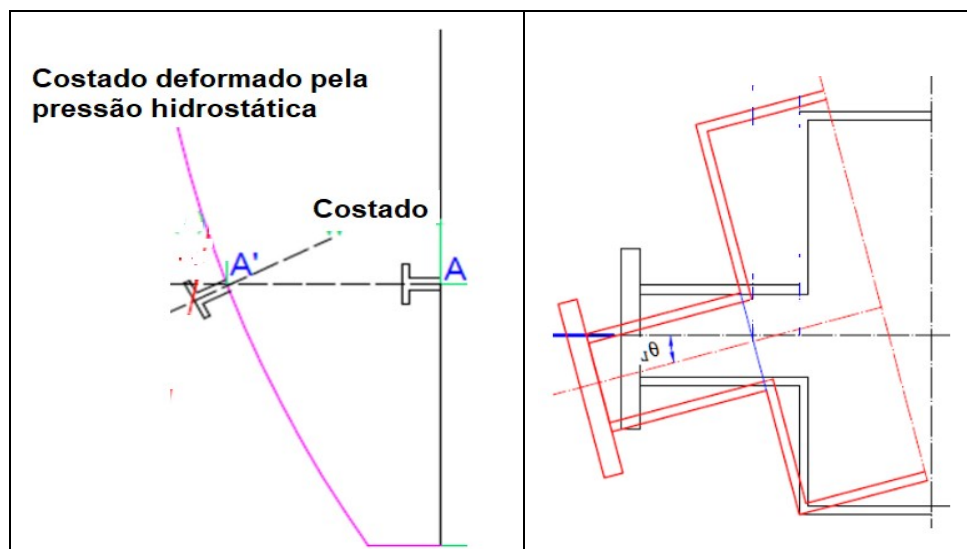
- Após a conclusão dos trabalhos de reparos e/ou alterações e antes do teste hidrostático deve haver a medição e verificação das deformações do costado, confrontando com as respectivas tolerâncias dimensionais, especificadas na Norma API Std 650 *Section 7.5 Dimensional Tolerances*.
O objetivo é conferir se as deformações (prumo/flexão/arredondamento ou ovalização) do costado ainda são aceitáveis, particularmente, para permitir o funcionamento adequado de teto flutuante interno ou externo.



Deformações típicas ao longo do costado de tanque de armazenamento

- Antes do início do teste hidrostático e durante o enchimento, verificar a existência de qualquer umidade sob o fundo, proveniente do produto armazenado ou água infiltrada entre o fundo e a base do tanque, decorrentes de vazamentos anteriores.
Para tanques de armazenamento de produtos pesados, avaliar o uso do sistema de aquecimento durante o teste hidrostático, para facilitar o escoamento de produtos acumulados entre o fundo e a base.
Quando houver suspeita de vazamentos no fundo, recomenda-se o uso de corantes na água do teste hidrostático para facilitar a detecção dos vazamentos.
- O grauteamento local deve ser reparado nos pontos danificados, mantendo-se o espaço das canaletas, para possível drenagem da água sob o fundo, decorrente de algum vazamento, durante o teste.
- Um acompanhamento e medição de recalque deve ser realizado para todos os tanques existentes que passam por um teste hidrostático, sendo a taxa máxima de enchimento conforme os requisitos da Norma API Std 650 *Section 7.3.6.5 Table Water Filling Rate*, a menos que seja restringida pela vazão de alívio do tanque, determinada na Norma API Std 650 *Section 5.8.5.Roof Venting*.
As medições de recalques devem acontecer durante o enchimento e quando a água de teste atingir 100% do nível de teste.

- e. Verificar as condições dos pinos de medição de recalques e, se necessário, recuperá-los. Os recalques são medidos utilizando-se os pinos de referências chumbados a cerca de 10 cm abaixo da face superior da base de concreto do tanque ou, no caso de uma fundação direta com aterro compactado fixados em cantoneiras de aço soldadas no costado do tanque.
- O número mínimo de pinos de medição de recalque deve ser o indicado pela seguinte equação:
- $N = D/10$, onde D é o diâmetro nominal do tanque, em pés (ft), e N é o número mínimo necessário de pontos de medição de recalque, arredondado para o próximo número inteiro, mas não menos que oito.
 - O espaçamento máximo entre os pontos de medição de assentamento deve ser de 10 m (32 ft).
 - A quantidade mínima de pinos de referência também pode ser obtida através da Norma Petrobras N-1807, de acordo com o diâmetro nominal do tanque.
- f. A água do teste deve ser doce, com a qualidade requerida pela Norma API Std 650 e ter um teor de cloretos inferior a 10 ppm (partes por milhão), a menos que especificado de outra forma pelo Proprietário.
- g. Para os tanques fabricados com aços de alta resistência e aços inoxidáveis, se deve considerar a pureza da água de teste, pois contaminantes, como cloretos e sulfetos, podem levar à possibilidade de trincamentos por corrosão sob tensão SCC *Stress Corrosion Cracks*, especialmente em aços inoxidáveis austeníticos.
- h. Outra característica que também se deve levar em consideração é a tenacidade ao entalhe (teste de impacto Charpy) do material de construção do tanque, na temperatura mínima da água do teste.
- i. A temperatura da água de teste não deve ser inferior a 10°C, caso a temperatura da água seja inferior a 10°C, consultar o Projetista do tanque, ou providenciar o aquecimento da água.
- j. Para tanques de aço Carbono e de baixa liga, a temperatura do metal do tanque durante o teste hidrostático não deve ser inferior à temperatura do metal conforme Norma API Std 650 *Figure 4-1 Minimum Permissible Design Metal Temperature for Materials Used in Tank Shells without Impact Testing*.
- k. Antes do início do enchimento do tanque, desconectar as tubulações externas e as reconectar somente após a aprovação do teste hidrostático e esvaziamento do tanque, isso se deve à deformação do costado durante o teste hidrostático.



Deformação típica do costado e dos bocais de um tanque durante teste hidrostático
Norma API Std 650 Figure 5-15-Rotation of Shell Connection

- l. Todos os bocais e bocas de visita do costado devem ser fechados e instaladas as raquetes.
- m. As juntas de vedação das portas de limpeza e das bocas de visita, instaladas antes do teste hidrostático, devem ser provisórias.
- n. Os bocais do teto fixo devem ser mantidos abertos, não sendo permitida a instalação dos dispositivos de alívio de pressão e vácuo.

- o. Por razões de segurança, as bocas de visita do teto devem estar abertas durante o enchimento ou esvaziamento, para fins de teste de tanque de teto fixo, para evitar danos por pressurização ou formação de vácuo excessivo.
- p. As válvulas dos drenos primários do teto flutuante devem estar abertas.
- q. O sistema de selagem do teto flutuante deve estar montado.
- r. Os bocais que não são abertos após a conclusão do teste devem ser montados com juntas de vedação definitivas.
- s. Prever o isolamento da área do teste e a sinalização de alerta e de advertência a ser exibida sobre o costado do tanque, a cada 90^a da circunferência, mencionando claramente “Teste hidrostático de tanque em andamento”.
- t. O local do teste deve atender às condições mínimas de segurança e acesso às partes a serem inspecionadas, no local de realização do teste hidrostático, incluindo o fechamento dos diques da bacia de contenção do tanque.

5.3. Enchimento do tanque para o teste hidrostático

Para tanques existentes deve ser realizado um teste hidrostático completo, com duração mínima de 24 horas contínuas, com água doce, após cheio até a altura máxima calculada, enquanto são verificados possíveis vazamentos, no costado e pelo fundo.

No caso particular de tanque de baixa pressão interna, uma pressão interna de ar, conforme definida no projeto, deve ser aplicada ao espaço fechado, acima do nível da água e mantida no mínimo por 15 minutos. Previamente, aplicar uma solução indicadora (por ex. filme de sabão ou detergente) na superfície externa das costuras de solda no costado e no teto, acima do nível do líquido.

A pressão do ar deve então ser reduzida à metade da pressão de projeto e todas as juntas soldadas acima do nível de água devem ser verificadas quanto a vazamentos, de modo que o ar que escapar por qualquer vazamento produza bolhas indicando o local do vazamento.

Se o tanque é de pequena pressão e for ancorado na base, depois que o tanque estiver cheio de água, até a altura máxima calculada, aplicar a pressão de ar de 1,25 vezes a pressão de projeto ao tanque cheio de água e manter por 15 minutos. Previamente, aplicar uma solução indicadora (por ex. filme de sabão ou detergente) na superfície externa das juntas soldadas no costado e no teto, acima do nível do líquido. Em seguida, a pressão do ar deve ser reduzida para a pressão de projeto, e inspecionar visualmente todas as juntas soldadas quanto à estanqueidade.

Depois que a água de teste for esvaziada do tanque (e o tanque estiver à pressão atmosférica), a ancoragem deve ser verificada quanto à estanqueidade.

No caso de teto flutuante, avaliar se a flutuabilidade é adequada e se o deslocamento é sem problemas.

5.4. Inspeção durante teste hidrostático

A inspeção visual final deve ser iniciada de 1 dia a 2 dias após o enchimento completo do tanque e se após a inspeção não for constatado nenhum problema, o teste hidrostático é considerado aprovado.

Listas de verificação de inspeção são apresentadas na Norma API Std 653 *Annex C Checklists for Tank Inspection* a serem considerados ao conduzir as inspeções de tanques.

- a. Durante a inspeção a base do tanque não deve apresentar umidade, com exceção da umidade previamente constatada.
- b. Verificar a ocorrência e fazer a medição de possíveis recalques. As leituras dos recalques devem ser realizadas nos estágios de enchimento e esvaziamento do tanque nos níveis de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. Após o término do controle de recalques, deve ser preparado um relatório final, do qual constem as folhas de controle de recalque, os gráficos tempo-recalque e as conclusões pertinentes.
- c. Executar a inspeção visual do tanque, frequentemente, durante o enchimento e durante o período de teste hidrostático, verificando-se todas as juntas soldadas do costado e possível vazamento pelo fundo.
- d. Em caso de vazamento revelado durante o teste hidrostático, o teste é reprovado, os novos reparos devem ser executados, conforme requisitos da Norma API Std 653 *Section 9 Tank Repair and Alteration*, antes do prosseguimento do teste.

- e. Realizar a medição e a verificação das deformações do costado, comparando com as respectivas tolerâncias dimensionais, conforme Norma API Std 650 *Section 7.5 Dimensional Tolerances*.

Para tanques de teto flutuante, interno ou externo, durante a realização do teste hidrostático, devem ser feitas as seguintes verificações:

- Funcionamento adequado da escada articulada ou deslizante do teto flutuante;
- Estanqueidade dos drenos primários do teto flutuante, com a válvula de bloqueio de dreno primário aberta, não sendo permitido vazamento do fluido contido no interior do tanque para a linha de drenagem;
- Estanqueidade do fundo, costado e teto, inclusive dos compartimentos de flutuação do teto flutuante;
- Acompanhar a realização do Teste de Flutuabilidade, conforme procedimento do Proprietário, com deslocamento adequado do teto flutuante, incluindo o desempenho do sistema de selagem entre o teto e o costado, sendo que o teto deve baixar até a altura mínima de operação do tanque, e o espaçamento entre o costado e o teto flutuante, em todos os níveis, deve respeitar a tolerância da projetista do selo de vedação.

5.5. Esvaziamento do tanque

- a. Antes do início do esvaziamento do tanque, as bocas de visita do teto devem estar abertas e todas as raquetes acaso instaladas nos bocais do teto devem ser removidas.
- b. Após o tanque ser esvaziado, todas as raquetes em bocais do costado devem ser removidas, as tubulações conectadas ao tanque devem ser reinstaladas, com juntas de vedação, parafusos, porcas e arruelas especificados nos desenhos do projeto.
- c. A água do teste pode ser reutilizada, transferindo-a para outro tanque conforme necessário e quando prático.
- d. O descarte de água de teste, que não for reutilizada, deve ser realizado conforme a orientação do Proprietário.
- e. Após a conclusão do teste hidrostático ou hidroteste, apenas pequenos acessórios não estruturais podem ser soldados ao tanque.

5.6. Finalização do teste hidrostático

Após a realização do teste hidrostático, é requerido:

- a. A análise pelo Projetista, em caso de ocorrência, de deformações permanentes no costado.
- b. Reparos do grauteamento nos pontos que apresentarem danos, mantendo-se abertas as canaletas de detecção de vazamento pelo fundo.

Nota:

O grauteamento é o trabalho de preencher com massa de cimento, vazios em espaços com acesso limitado, normalmente aplicado para preenchimento em estruturas de concreto armado, de bases de equipamentos, pilares, e em cintas, e outras estruturas de concreto com fissuras, trincas e rachaduras .

- c. Limpeza e descontaminação do interior do tanque.
- d. A reutilização de juntas de vedação não é permitida.
- e. Instalação das juntas de vedação, parafusos e porcas previstos no projeto do tanque.
- f. Se houver previsão ou se constatar a necessidade de repintar o tanque, este trabalho só deve ser executado após a aprovação do teste hidrostático.
- g. Após a conclusão do teste hidrostático do tanque reconectar as tubulações externas permanentes.
- h. Prever a destinação adequada da água utilizada na realização do teste hidrostático.
- i. Aprovação do relatório de realização do teste hidrostático, pelo Proprietário.

6. Critérios para a isenção do teste hidrostático ou hidroteste de tanque existente

As condições que autorizam a não execução do testes hidrostático, após a manutenção do tanque, dependem se o tanque foi submetido a reparos não considerados grandes reparos ou alterações, De acordo com a Norma Regulamentadora NR 13 Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento, qualquer reparo ou alteração, a ser executado em um tanque de armazenamento, deve ser analisado por um PH - Profissional Habilitado, com experiência em projeto e construção de tanques.

Referência: NR 13 <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-13.pdf>

Este profissional define a natureza do trabalho, isto é, se enquadrado em simples reparo, grande reparo ou alteração.

Exemplos de grandes reparos ou alterações em tanque existente são:

- a. Montagem de bocal no costado, abaixo do nível máximo operacional de enchimento;
- b. Aberturas no fundo;
- c. Remoção e substituição de chapas do costado;
- d. Remoção e substituição de trecho da chapa anular *annular plate* do fundo;
- e. Remoção e reparo de junta vertical do costado;
- f. Remoção e reparo de solda radial da chapa anular do fundo *annular plate*;
- g. Reparo de vazamento pelo fundo;
- h. Instalação de novo fundo;
- i. Remoção e reparo da solda de ligação costado x fundo;
- j. Aumento da severidade de serviço: densidade maior do fluido armazenado, modificação da temperatura de serviço, produto de maior corrosividade;
- k. Reutilização de tanque descartado ou avariado;

6.1. Dispensa do teste hidrostático após a execução de simples reparos

Para a aprovação da isenção do teste de pressão hidrostático, no caso de simples reparo, isto é, que não se enquadra nas categorias de grande reparo ou alteração, os seguintes itens devem ser atendidos.

- a. O projeto do reparo foi revisado e aprovado por um engenheiro com experiência em projetos de tanques de armazenamento de acordo com a Norma API Std 650. O engenheiro deve concordar por escrito com a isenção do teste hidrostático.
- b. O reparo foi executado e inspecionado conforme a Norma API Std 653 *Section 12—Examination and Testing – Non Destructive Examination (NDE)*.
- c. O Proprietário do tanque autorizou a isenção do teste hidrostático, por escrito.

6.2. Dispensa do teste hidrostático mediante a execução de grande reparo e/ou alteração conforme prescrito pela Norma API Std 653

Para grandes reparos ou alterações, que requerem o teste hidrostático, ainda assim o teste pode ser dispensado, se forem executados conforme as regras da Norma API Std 653 *Section 12.3.2 Hydrostatic Testing Exemptions (Major Repairs/Alterations)*, que especifica as condições particulares para cada parte ou componente do tanque: *Sections 12.3.2.3 Shell Repair, 12.3.2.4 Bottom Repair within the Critical Zone, 12.3.2.5 Shell-to-bottom Weld Repair, 12.3.2.6 Minor Shell Jacking*, em que são adotados controles mais rigorosos de qualidade, para projeto, execução, inspeção e aceitação do reparo.

Portanto, um teste hidrostático do tanque existente não é requerido, mesmo após a execução de grandes reparos e grandes alterações, se para cada reparo ou alteração é especificado um procedimento, contemplando as fases de projeto, execução, inspeção e ensaios não destrutivos, necessários para a verificação da integridade do tanque, de acordo com os requisitos da Norma API Std 653 *Section 12.3.2 Hydrostatic Testing Exemptions (Major Repairs/Alterations)*.

O projeto do reparo deve ser verificado e aprovado por um engenheiro com experiência em projetos de tanques de armazenamento de acordo com a Norma API Std 650.

O engenheiro deve concordar, por escrito, com a isenção do teste hidrostático, como também o Proprietário do tanque deve autorizar, por escrito, esta exceção.

Caso o teste hidrostático seja dispensável, o tanque deve ser acompanhado durante os primeiros 5 dias de operação, conforme procedimento a ser definido pelo PH-Profissional Habilitado da NR-13.

6.3. Autorização para a dispensa do TH-Teste Hidrostático mediante a análise de tensões

Alternativamente, em qualquer situação de reparo ou alteração, prevista anteriormente, o Proprietário do tanque de armazenamento pode autorizar o uso do recurso de análise de tensões, para a avaliação do tanque, com o intuito de dispensar o teste hidrostático-TH, conforme prescrito na Norma API Std 653

Section 12.3.2.7 *Fitness-for-service Evaluation*, a ser realizado por especialista reconhecido e com experiência em projetos de tanque API Std 650.

O especialista e o Proprietário do tanque devem concordar e autorizar, por escrito, com a isenção do teste hidrostático.

A análise de tensões e o emprego de metodologia de “avaliação de adequação ao serviço *fitness for service evaluation*” é o recurso final, quando as permissões para a não execução do Teste Hidrostático se esgotam e ainda assim é importante a dispensa do teste.

Conforme a interpretação do conteúdo da Norma API Std 653 Section 12.3.2.7 *Fitness-for-service Evaluation*, o Proprietário, como usuário do tanque, sabedor da premência do uso, pode determinar, o recurso da análise de tensões, para verificação e autorização de dispensa do Teste Hidrostático.

Porém, os procedimentos e critérios de realização e aceitação dessa metodologia não estão incluídos na Norma API Std 653, sendo, por isso, não recomendável.

Nota:

Com a autorização do Proprietário pode ser utilizada uma metodologia de “avaliação de adequação ao serviço” *Fitness for service evaluation*, com base em princípios e práticas estabelecidos e reconhecidos, para isentar um tanque do teste hidrostático.

Esta análise deve ser realizada por um engenheiro com experiência em projeto de tanques de armazenamento, conforme Norma API Std 650, e empregar metodologias de avaliação reconhecidas internacionalmente.

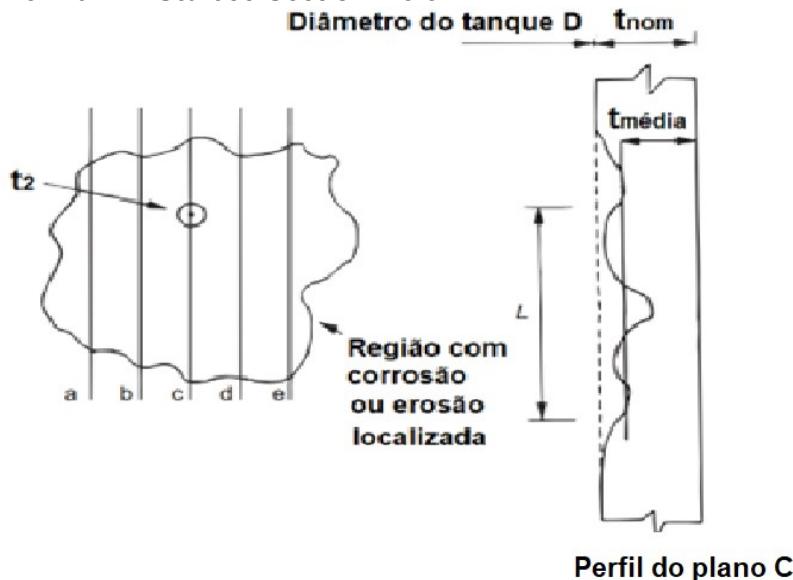
ANEXOS

1. Medição e aceitação das espessuras de regiões corroídas/erodidas do costado do tanque

Consiste na determinação de **t_{mín}** que é a menor espessura medida, em cada anel de chapas do costado, nas regiões com corrosão/erosão localizada, a ser comparada com a “**t_{calc}**”, calculada para o costado:

t_{mín} > t_{calc}.

Norma API Std 653 Section 4.3.3.2



- **L** é o comprimento vertical máximo ou crítico, da área corroída/erodida, em que se assume que as tensões circunferenciais atuantes são maiores, no entorno das discontinuidades locais de espessura.

Nota:

O comprimento vertical real da área corroída pode exceder o comprimento calculado **L**.

Determinação de t_{mín} - menor espessura média remanescente medida na região com corrosão/erosão localizada.

- Calcular o **L**, que não deve ser maior que 40 pol

$$L = 3.7 \sqrt{Dt_2}$$

L em pol (in)

D em pés (ft)

t₂ em pol (in)

- Na figura, ao lado, os planos “a” até “e” são planos de inspeção da área corroída selecionados para medição de espessura.

Em cada plano localize **L** para se medir e obter **t_{mín}**, como o ex. indicado ao longo do perfil do plano “c”, em que a espessura média é a medida mais baixa.

- Os critérios para assegurar a continuidade operacional do tanque são os seguintes:

i) o valor **t_{mín}** deve ser maior ou igual à espessura **t_{calc}** calculada, para o costado

A altura máxima do nível de água de enchimento "Ht", para o teste hidrostático, é calculada conforme a metodologia da Norma API Std 653 *Section 4.3.3.2 Hydrostatic Test Height*. No tanque, "Ht" deve ser tomado como a altura desde a base do comprimento calculado, **L**, da área mais severamente corroída/erodida em cada anel do costado, até o nível da água para o teste hidrostático.

- **t_{mín}** é o valor da menor das espessuras médias, **t_{média}**, medidas em cada plano selecionado, nas regiões que apresentem redução localizada de espessura;
- **t_{média}** é a média das espessuras remanescentes, medidas em cada plano de inspeção;
- **t_{calc}** é a espessura mínima calculada em cada anel do costado do tanque, conforme o método da Norma API Std 653 *Section 4.3.3. Minimum Thickness Calculation for Welded Tank Shell*, sem se considerar a sobresspessura de corrosão;
- **t₂** é a menor espessura medida, considerando-se toda a área corroída/erodida, excluindo-se os pites;
- **D** é o diâmetro nominal do tanque.

sujeito, além da pressão estática, a outros possíveis carregamentos, como por ex.:

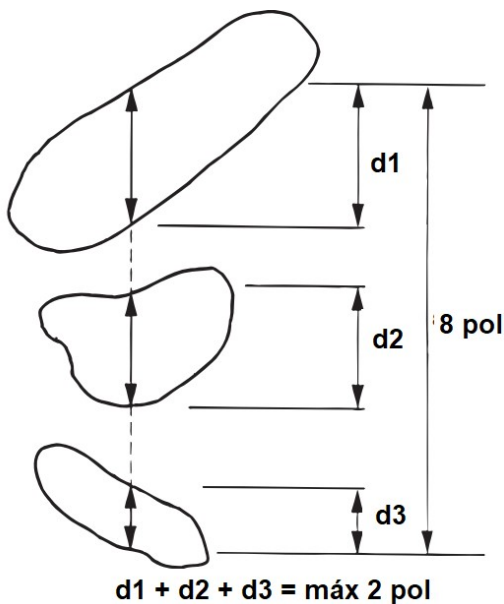
- flambagem induzida pelo vento;
- cargas sísmicas;
- pressão externa induzida por vácuo;
- cargas externas causadas por tubulações, equipamentos montados em tanques;
- cargas oriundas de recalque.

ii) o valor **t₂** deve ser maior ou igual a 60 % de **t_{calc}**;

iii) qualquer sobresspessura de corrosão necessária, para a operação do tanque, até a próxima inspeção deve ser adicionada ao **t_{calc}**.

Inspeção e aceitação de áreas de corrosão localizada

Norma API Std 653 *Section 4.3.2.2 e Figure 4.2 - Pit Measurement*



A corrosão por pites *pitting*, também conhecida por corrosão alveolar, se caracteriza pela formação de furos na espessura do metal, formando pequenos poros (alvéolos ou pites) localizados, que começam na superfície metálica e podem chegar a perfurar toda a espessura do costado, com pouca ou até mesmo nenhuma perda de espessura do material.

Chapas com regiões de pites bem dispersos podem ser aceitas e os pites ignorados, desde que:

- a) nenhuma profundidade de pite resulta em que a espessura restante do costado seja menor que a metade da espessura mínima aceitável do costado do tanque, excluindo-se a tolerância de corrosão
- b) a soma das dimensões dos pites ao longo de qualquer linha vertical não exceda 2 pol. em 8 pol. de comprimento, conforme figura abaixo.

Fora dessas condições a chapa com pites deve ser condenada e substituída, conforme o projeto original do tanque.

Aceitação de regiões do costado com corrosão por pites