

Projeto, Fabricação e Montagem de Esfera

Procedimento

Esta Norma substitui e cancela a sua revisão anterior.

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. A Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma é a responsável pela adoção e aplicação das suas seções, subseções e enumerações.

Requisito Técnico: Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada estritamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não segui-la ("não-conformidade" com esta Norma) deve ter fundamentos técnico-gerenciais e deve ser aprovada e registrada pela Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma. É caracterizada por verbos de caráter impositivo.

Prática Recomendada: Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e adverte sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pela Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma. É caracterizada por verbos de caráter não-impositivo. É indicada pela expressão: **[Prática Recomendada]**.

Cópias dos registros das "não-conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o seu aprimoramento, devem ser enviadas para a CONTEC - Subcomissão Autora.

As propostas para revisão desta Norma devem ser enviadas à CONTEC - Subcomissão Autora, indicando a sua identificação alfanumérica e revisão, a seção, subseção e enumeração a ser revisada, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

"A presente Norma é titularidade exclusiva da PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, de uso interno na PETROBRAS, e qualquer reprodução para utilização ou divulgação externa, sem a prévia e expressa autorização da titular, importa em ato ilícito nos termos da legislação pertinente, através da qual serão imputadas as responsabilidades cabíveis. A circulação externa será regulada mediante cláusula própria de Sigilo e Confidencialidade, nos termos do direito intelectual e propriedade industrial."

Apresentação

As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho - GT (formados por Técnicos Colaboradores especialistas da Companhia e de suas Subsidiárias), são comentadas pelas Unidades da Companhia e por suas Subsidiárias, são aprovadas pelas Subcomissões Autoras - SC (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando as Unidades da Companhia e as Subsidiárias) e homologadas pelo Núcleo Executivo (formado pelos representantes das Unidades da Companhia e das Subsidiárias). Uma Norma Técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reanalisada a cada 5 anos para ser revalidada, revisada ou cancelada. As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a Norma Técnica PETROBRAS N-1. Para informações completas sobre as Normas Técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

1 Escopo

1.1 Esta Norma fixa os requisitos mínimos que devem ser obedecidos no projeto mecânico de esferas em material aço-carbono destinadas ao armazenamento de gases liquefeitos sob pressão, tais como: butano, propano, propileno e GLP (Gás Liquefeito de Petróleo).

1.2 Esta Norma é uma complementação das PETROBRAS [N-253](#), [N-268](#) e [N-269](#) que devem ser seguidas onde aplicável.

1.3 Esta Norma se aplica a projetos iniciados a partir da data de sua edição.

1.4 Esta Norma contém somente Requisitos Técnicos e Práticas Recomendadas.

2 Referências Normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes dos referidos documentos (incluindo emendas).

Ministério do Trabalho - [NR-12](#) - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos;

Ministério do Trabalho - [NR-13](#) - Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações;

PETROBRAS [N-253](#) - Projeto de Vaso de Pressão;

PETROBRAS [N-268](#) - Fabricação de Vasos de Pressão;

PETROBRAS [N-269](#) - Montagem de Vasos de Pressão;

PETROBRAS [N-279](#) - Projeto de Estruturas Metálicas;

PETROBRAS [N-1203](#) - Projeto de Sistemas Fixo de Proteção Contra Incêndio em Instalações com Hidrocarbonetos;

PETROBRAS [N-1645](#) - Critérios de Segurança para Projeto de Instalações Fixas de Armazenamento de Gás Liquefeito de Petróleo;

PETROBRAS [N-1756](#) - Projeto e Aplicação de Proteção Contrafogo em Instalações Terrestres;

ABNT [NBR NM ISO 9712](#) - Ensaio Não Destrutivo - Qualificação e Certificação de Pessoal;

API [MPMS 3.3](#) - Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 3 - Tank Gauging Section 3;

ASME [BPVC Section VIII Division 1](#) - Rules for Constructuion of Pressure Vessels;

ASME [BPVC Section VIII Division 2](#) - Rules for Constructuion of Pressure Vessels;

ASTM [A370](#) - Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products;

ASTM [A435/A435M](#) - Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates;

ASTM [A578/A578M](#) - Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Rolled Steel Plates for Special Applications;

AWS [A5.01M/A5.01](#) - Welding Consumables—Procurement of Filler Metals and Fluxes;

3 Dimensões de Esferas

3.1 O volume nominal da esfera deve ser determinado considerando o volume útil de líquido requerido e um espaço para vapor correspondente a 10 % do volume nominal.

3.2 São considerados padronizados os volumes nominais de 1 590 m³ (10 000 bbl) e 3 180 m³ (20 000 bbl), que correspondem aos diâmetros internos aproximados de 14,60 m e 18,25 m, respectivamente. Essas dimensões devem ser adotadas sempre que possível.

4 Projeto

4.1 Condições de Projeto

4.1.1 As condições de projeto das esferas devem ser como estabelecido na PETROBRAS [N-253](#).

4.1.2 Além da temperatura de projeto correspondente à máxima temperatura que o fluido armazenado pode atingir, deve obrigatoriamente ser considerada uma **temperatura mínima de projeto**, de acordo com o seguinte critério, exceto quando especificada na Folha de Dados:

- a) a temperatura mínima de projeto para os flanges, pescoços de bocais e bocas de visita, soldas de ligação entre pescoços de bocais e flanges, e outras peças **que possam ficar diretamente abertas para o exterior**, isto é, **sujeitas a vazamento**, bem como para flanges cegos e parafusos, estojos e porcas desses bocais deve ser o menor dos seguintes valores:
 - temperatura de vaporização do fluido contido na pressão atmosférica;
 - zero °C.
- b) a temperatura mínima de projeto para todas as outras partes da esfera, inclusive o próprio casco e suas soldas (incluindo a solda de ligação do pescoço do bocal com o casco), com exceção das discriminadas no item “a” acima deve ser o menor dos seguintes valores:
 - temperatura de vaporização do fluido contido na pressão atmosférica, acrescida de 30 °C;
 - zero °C.

4.1.3 O projeto deve considerar também a condição de vácuo total (- 1 atm) no dimensionamento da esfera.

4.2 Código de Projeto

4.2.1 A esfera deve ser projetada de acordo com o código ASME [BPVC Section VIII Division 1](#) ou [BPVC Section VIII Division 2](#), dependendo do que estiver especificado na Folha de Dados da esfera. Quando nada for especificado na Folha de Dados, a escolha entre a ASME [BPVC Section VIII Division 1](#) e a ASME [BPVC Section VIII Division 2](#) deve ser proposta pelo fabricante e aprovada previamente pela PETROBRAS.

NOTA Quando a espessura de parede, calculada pelo código ASME [BPVC Section VIII Division 1](#) exceder 38 mm (1 1/2"), recomenda-se avaliar a conveniência de se executar o projeto pelo código ASME [BPVC Section VIII Division 2](#). **[Prática Recomendada]**

4.2.2 Deve ser avaliada a necessidade de análise de fadiga, inclusive esfera projetada pelo ASME [BPVC Section VIII Division 1](#), considerando as variações previstas de pressão e de nível de líquido no interior da esfera em função do tempo, conforme "screening criteria for fatigue analysis" do ASME [BPVC Section VIII Division 2](#). Caso a análise de fadiga seja exigida, a mesma deve ser feita de acordo com o código ASME [BPVC Section VIII Division 2](#), para uma vida útil de 20 anos, exceto quando for especificado pela PETROBRAS um valor diferente.

5 Materiais

5.1 Todos os materiais devem estar de acordo com as exigências e recomendações da PETROBRAS [N-253](#).

5.2 As chapas para fabricação das esferas projetadas de acordo com o código ASME [BPVC Section VIII Division 1](#) com espessuras acima de 25 mm devem ser especificadas com requisito suplementar de exame por ultrassom na usina conforme ASTM [A435/A435M](#) ou [A578/A578M](#) nível B. Para esferas projetadas de acordo com o código ASME [BPVC Section VIII Division 2](#) deve-se seguir na usina o requisito de exame por ultrassom especificado pelo código em função das espessuras das chapas.

5.3 Todos os materiais para partes submetidas à pressão, inclusive flanges, pescoços de bocais e bocas de visita, chapas ou peças de reforços, flanges cegos, parafusos, porcas e consumíveis de soldagem, devem ser adequados para a temperatura mínima de projeto definida no 4.1.2 desta Norma.

5.4 É sempre exigido teste de impacto, mesmo quando dispensado pelo código de projeto, para as partes submetidas à pressão, inclusive flanges, pescoços de bocais e bocas de visita, chapas ou peças de reforços, flanges cegos e consumíveis de soldagem.

NOTA 1 Os corpos-de-prova para os ensaios de avaliação de tenacidade (impacto), conforme ASTM [A370](#) devem ser realizados nas temperaturas citadas em 4.1.2 a) e b) desta Norma, considerando o componente da esfera cujo corpo-de-prova representa.

NOTA 2 Os requisitos mínimos de energia para os corpos de prova devem ser iguais aos especificados pelo código de projeto para os materiais, procedimentos de soldagem e condições que requerem teste de impacto.

5.5 Quando o Tratamento Térmico Após Soldagem (TTAS) for requerido pelo código de projeto ou por condição de processo (Exemplo: presença de H₂S úmido), esta norma exige que os corpos de prova a serem submetidos aos ensaios mecânicos tanto na fase da qualificação da matéria prima (incluindo os consumíveis de soldagem), quanto posteriormente na fase de qualificação dos procedimentos de soldagem, sejam submetidos aos TTASs que simulem todos os tratamentos térmicos efetuados nas fases de fabricação, construção e montagem e mais um TTAS extra a ser efetuado pela PETROBRAS, na operação futura do equipamento na eventualidade de reparo.

NOTA Na fase de qualificação dos procedimentos de soldagem os corpos de prova a serem utilizados nos ensaios mecânicos devem ser submetidos a duas condições de simulação de TTAS (uma para atender a condição de TTAS Mínimo e a outra para a condição de TTAS Máximo), gerando tantas Especificações de Procedimento de Soldagem (EPS) e Registros de Qualificação do Procedimento de Soldagem (RQPS), quanto o fabricante julgar necessário.

5.6 Tempo Exigido para as Condições de TTAS Simulado

5.6.1 TTAS Simulado é o tratamento térmico realizado em corpos-de-prova com o objetivo de verificar a influência dos Tratamentos Térmico Após Soldagem (TTASs Mínimo e Máximo) nas propriedades mecânicas de metais-base, consumíveis e soldas.

NOTA 1 Tratamento Térmico Após Soldagem Mínimo (TTAS Mínimo): é o tratamento térmico especificado considerando todos os tratamentos térmicos de fabricação previstos nas fases de construção e montagem do equipamento, incluindo o TTAS final.

NOTA 2 Tratamento Térmico Após Soldagem Máximo (TTAS Máximo): é o tratamento térmico especificado considerando todos os tratamentos térmicos de fabricação previstos nas fases de construção e montagem do equipamento, incluindo o TTAS final e, no mínimo, um TTAS adicional, para uso futuro da PETROBRAS.

5.6.2 Devido à dificuldade de obtenção de uma completa homogeneização das temperaturas das diferentes regiões da esfera durante o tratamento térmico de campo, o fabricante deve definir um tempo maior que o exigido pelo ASME [BPVC Section VIII](#) para as condições de TTAS Mínimo e TTAS Máximo, na aquisição de matéria prima, consumíveis de soldagem e qualificação dos procedimentos de soldagem a serem utilizados nos TTASs Simulados.

5.6.3 O tempo total para as condições de TTAS Mínimo e o TTAS Máximo deve considerar o um eventual tempo do TTAS em forno na fase de fabricação conforme 11.3.

5.7 Tempo Total de TTAS Simulado em Ciclo Único

O fabricante deve apresentar para a PETROBRAS o tempo total previsto de TTAS simulado, antes da aquisição da matéria prima, inclusive consumíveis de soldagem. O tempo total para o TTAS simulado para condição que exige a maior quantidade de TTASs pode ser efetuado em um único ciclo, desde que aprovado previamente pela PETROBRAS e inclua os efeitos de todos os patamares e respectivos tempos de aquecimentos e resfriamento.

NOTA O procedimento permitido para simular os TTASs em um único ciclo deve ser baseado nos parâmetros de Larson-Miller/Hollomon-Jaffe e deve considerar todas as taxas de aquecimento e resfriamento.

5.8 Consumíveis de soldagem

Todos os consumíveis de soldagem adquiridos devem atender ao “Schedule K” da especificação AWS A5.01, sendo os lotes definidos como segue:

- Classe C5 para eletrodos revestidos;
- Classe S3 para varetas e arames sólidos;
- Classe T3 para arames tubulares, e
- Classe F2 para fluxo de soldagem para o processo arco submerso.

5.8.1 Os ensaios requeridos (“Schedule K”) dos lotes de consumíveis devem ser como segue:

- a) Deve ser soldada uma chapa com no mínimo a espessura calculada da esfera, com comprimento suficiente para a confecção dos corpos de prova exigidos nos ensaios descritos a seguir. A chapa deve possuir propriedades mecânicas equivalentes a que será empregada no equipamento. A soldagem deve ser realizada na posição 3G, progressão ascendente, a menos da soldagem com processo SAW na posição 1G. Caso seja empregada a posição 1G para a homologação dos outros processos (de forma a aumentar o aporte térmico empregado), a soldagem posterior no equipamento com esse aporte estará limitada a essa posição.

- b) Os seguintes ensaios devem ser realizados para simular uma qualificação de procedimento de soldagem (à exceção da ZTA, que não será testada):
 - a. Ensaio de impacto (Charpy) no centro de solda a 1,5 milímetros da face do primeiro lado soldado (um conjunto de três corpos de prova);
 - b. Ensaio de impacto (Charpy) no centro de solda a $\frac{1}{4}$ da espessura, no segundo lado soldado (um conjunto de três corpos de prova);
 - c. Ensaio de tração;
 - d. Dobramento lateral;
 - e. Análise química do metal de adição.
- c) Todos os ensaios mecânicos devem ser realizados após a execução de um tratamento térmico após soldagem simulando o tempo mínimo de patamar das partes do equipamento que recebem somente o TTAS de campo, determinado em função da espessura adotada.
- d) Os ensaios de tração e impacto devem ser repetidos após a execução de um outro tratamento térmico após soldagem simulando o tempo de patamar contemplando todos os TTASs previstos na fabricação, montagem e o extra requerido pela PETROBRAS.
- e) Os demais parâmetros dos tratamentos térmicos, tais como temperatura, taxas de aquecimento e resfriamento devem ser conforme código de projeto.
- f) Recomenda-se para estes ensaios, a soldagem de uma peça única, a ser dividida em duas partes. **[Prática Recomendada]**.
- g) O critério de aceitação dos ensaios mecânicos deve ser equivalente ao da qualificação dos procedimentos de soldagem.
- h) Toda a soldagem posterior no equipamento, empregando as corridas dos consumíveis de soldagem homologados através desses ensaios, deve estar limitada pelo aporte térmico empregado nessa homologação.
Recomenda-se, portanto, o uso do maior aporte térmico viável durante essa etapa.
[Prática Recomendada]

6 Detalhes de Projeto Mecânico

6.1 Bocais e Outras Aberturas

6.1.1 O tipo de flange permitido, juntas, acabamento da face de flange, estojos e porcas, dos bocais de processo, instrumentação, bocas de visita e outros bocais, bem como sua projeção externa, devem estar de acordo com a PETROBRAS [N-253](#), exceto quando especificado em contrário nesta Norma.

6.1.2 A ligação do pescoço de qualquer tipo de bocal e das bocas de visita ao costado da esfera deve ser sempre por **solda de penetração total** e obrigatoriamente inspecionadas 100% no volume da solda por ensaio de ultrassom automatizado com registro. O reforço de qualquer abertura (incluindo os das bocas de visita), quando requerido pelo dimensionamento mecânico, deve ser do tipo integral. **Não é permitido** o reforço do tipo anel sobreposto.

6.1.3 Todas as esferas devem ter duas bocas de visita com diâmetro mínimo de 24", sendo uma localizada no topo e outra no fundo.

NOTA 1 A boca de visita no topo deve ter um turco para a remoção da tampa.

NOTA 2 A boca de visita no fundo deve ser provida de dobradiça e deve ser previsto um dispositivo seguro para a remoção e manobra da tampa.

6.1.4 É permitido que o bocal de respiro da esfera, fechado com flange cego, seja instalado na tampa da boca de visita do topo da esfera.