

# Manual simplificado de projeto mecânico e de fabricação de Vasos de Pressão conforme Código ASME Sec VIII Div 1

## 1. Introdução

Este manual apresenta as etapas para projeto mecânico e de fabricação de Vasos de Pressão, conforme o Código ASME Section VIII - Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1 Rules for Construction of Pressure Vessels.

O Código ASME VIII 1 é utilizado, internacionalmente e também no Brasil, para o projeto e construção de Vasos de Pressão e prescreve os requisitos aplicáveis ao projeto, fabricação, inspeção, teste e certificação de vasos de pressão, para operação em pressões internas ou externas, superiores a 15 psig.

Seu uso destina-se a fabricantes, usuários, construtores, projetistas e outros interessados no projeto, fabricação, montagem, exames, inspeção, testes, segurança e alívio de vasos de pressão..

O código ASME Section VIII tem duas divisões: Division 1 e Division 2.

Ambos ASME Sec VIII Div 1 e Div 2 são usados para projetos de vasos de pressão e contêm requisitos para materiais de construção, projeto, fabricação, exames, inspeção, testes, certificação e alívio de pressão.

Mas há diferenças bem distintas entre as duas divisões. Division 1 e Division 2.

Os projetos do vasos de pressão, de acordo com o Código ASME Seção VIII Divisão 1 são elaborados por regras práticas e não requerem a avaliação detalhada de todas as tensões atuantes.

Por outro lado, o Código Seção VIII Divisão 2 estabelece diretrizes específicas para análise de todas as tensões atuantes, como elas são combinadas e as tensões admissíveis, para as diferentes categorias de tensões combinadas.

No ASME VIII 1 o projeto é por regras, que visam controlar o nível das tensões atuantes, e no ASME VIII 2 o projeto é por análise das tensões, pois, o fator de segurança do projeto é inferior ao da Div 1, logo permitindo tensões admissíveis superiores.

Os vasos de pressão de projeto pela Div 2 têm espessuras de paredes menores que os similares projetados pela Div 1, são portanto mais leves, porém, devido às maiores exigências sobre materiais construtivos e práticas de fabricação e inspeção, não são, necessariamente, de menor preço. Na prática a Div 2 é empregada para Reatores de processamento de pressão e temperatura elevados e para as Esferas de grande porte de armazenamento de gases liquefeitos de petróleo.

## 2. Definições

- Vaso de pressão *pressure vessel*  
Designa genericamente todos os recipientes estanques, de qualquer tipo, dimensões, formato ou finalidade, capazes de conter um fluido pressurizado, a partir de 1,0 barg (15 psig), e aqueles que operam em pressões negativas ou vácuo.
- Projeto analítico  
Consiste no projeto de processo e térmico, onde devem estar indicados: natureza, composição e propriedades físicas e químicas de todas as correntes fluidas, incluindo os contaminantes presentes, que entram ou saem do vaso, as dimensões principais (diâmetro interno e comprimento), tipo de vaso, condições de operação e projeto.
- Projeto mecânico  
Consiste no dimensionamento mecânico estrutural do vaso de pressão, conforme o Código ASME, baseado no projeto analítico e na seleção dos materiais construtivos.
- Projeto de fabricação  
Consiste no detalhamento completo dos vasos para a fabricação, incluindo detalhes de montagem e todos os requisitos e dados prescritos no projeto mecânico.
- Registro de Qualificação do Procedimento de Soldagem - RQPS (Welding Procedure Qualifications Record)  
Documento, emitido pelo executante dos serviços de soldagem, em que são registrados os valores dos parâmetros de execução das soldas das peças de teste e os resultados de ensaios de qualificação, devendo ainda conter os certificados de qualidade dos materiais e dos consumíveis empregados, e demais certificados de ensaios complementares exigidos nas especificações técnicas

- Especificação de Procedimento de Soldagem-EPS (Welding Procedure Specification-WPS)  
Documento emitido pelo fabricante, com base nas especificações do projetista, dos consumíveis e dos metais de base, provendo as variáveis de soldagem necessárias para produção de juntas soldadas, com as mesmas propriedades e características das juntas ensaiadas na qualificação.
- Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem (IEIS)  
Documento elaborado com base em EPS certificada, detalhando os parâmetros de soldagem adequados para cada junta soldada, bem como os ENDS-Ensaio Não Destrutivo aplicáveis.
- Plano de Inspeção e Testes (PIT)  
Documento elaborado pelo fabricante, seguindo os padrões estabelecidos pelas normas de gestão da qualidade, que tem por objetivo garantir a compatibilidade do equipamento a ser fornecido com o projeto, os procedimentos requeridos e a documentação contratual
- Certificado de qualidade  
Documento emitido pela Usina Siderúrgica fabricante do material construtivo, que comprova sua conformidade com a especificação normatizada do material e que permita sua rastreabilidade.
- Identificação Positiva de Material (“Positive Material Identification” - PMI)  
Exame realizado para a confirmação do material, recebido na fábrica, a ser utilizado na construção, através da análise de sua composição química e dos resultados dos ensaios mecânicos
- Teste “screening test”  
Teste de recebimento realizado nos consumíveis de soldagem, recebidos na fábrica.
- Mapa dos defeitos reparados  
Registro elaborado pelo fabricante em que são assinalados todos os reparos com solda, nos componentes do vaso, durante a fabricação, permitindo a localização exata dos locais reparados.
- Diagrama de carga sobre as fundações  
Documento a ser emitido pelo projetista, contendo:
  - a. Grandeza, direção e sentido de todas as forças e momentos que o equipamento exerce sobre as suas base e fundações, em qualquer situação de operação normal ou eventual, em teste hidrostático, em montagem e em manutenção.
  - b. Essas forças e momentos devem ser referidos a três eixos coordenados ortogonais, um dos eixos coincidente com a linha de centro do vaso;
  - c. Amplitude e frequência de vibrações transmitidas às fundações, quando for o caso.
- Teste de pressão  
Teste a ser executado no vaso de pressão após fabricado, ainda na fábrica, para conferir a integridade estrutural do equipamento, podendo ser hidrostático, quando feito com água, ou pneumático, quando feito com ar. O teste pneumático deve ser evitado devido ao risco de explosão, em caso de falha do vaso.
- Projetista  
Empresa encarregada da elaboração dos projetos mecânico e/ou de fabricação do vaso de pressão.
- Fabricante  
Empresa encarregada da fabricação completa ou da fabricação parcial do vaso, nos casos em que houver complementação da construção no canteiro de obra

### 3. Vasos de pressão típicos

Os vasos de pressão geralmente têm o formato de cilindros, esferas, cones, elipsóides, toros ou combinações destas geometrias.

Pelo termo “vasos de pressão” compreendem-se, dentre outros, os seguintes equipamentos, normalmente, presentes em instalações de óleo&gás, siderúrgicas, termoeletricas, indústrias químicas, etc.

- Vasos, propriamente ditos, verticais ou horizontais;
- Torres ou colunas de processo;
- Reatores de processamento;
- Permutadores ou trocadores de calor tubulares ou de placas;
- Esferas e cilindros de armazenamento de gás;
- Filtros de processo;
- Secadores;
- Painéis de pressão industriais;
- Autoclaves;

- Outros equipamentos pressurizados.

Para todos, devem ser atendidos os requisitos da Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho NR-13-Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos, que dentre outros, são:

- Todo vaso de pressão deve ter afixado em seu corpo, em local de fácil acesso e visível, placa de identificação indelével com, no mínimo, as seguintes informações:

- fabricante;
- número de identificação TAG;
- ano de fabricação;
- PMTA Pressão Máxima de Trabalho Admissível;
- código de construção e ano de edição;
- classe do fluido contido;
- categoria do vaso de pressão.

- Além da placa de identificação, devem constar, em local visível à distância, a categoria do vaso e seu número ou código de identificação TAG.

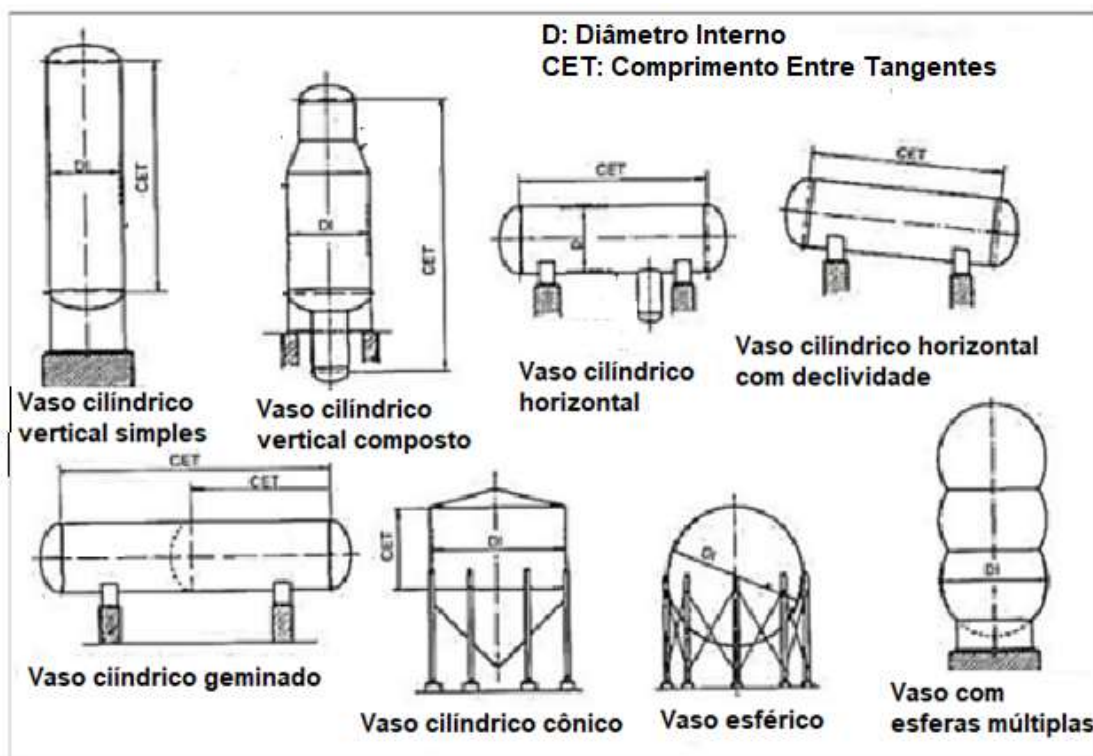
- Todo vaso de pressão deve possuir, no estabelecimento onde estiver instalado, a seguinte documentação devidamente atualizada:

- prontuário do vaso de pressão, fornecido pelo fabricante, contendo as seguintes informações:

- código de construção e ano de edição;
- especificação dos materiais;
- procedimentos utilizados na fabricação, montagem e inspeção final;
- metodologia para estabelecimento da PMTA-Pressão Máxima de Trabalho Admissível;
- conjunto de desenhos e demais dados necessários ao monitoramento da sua vida útil;
- pressão máxima de operação;
- registros da execução do teste hidrostático de fabricação;
- características funcionais;
- dados dos dispositivos de segurança;
- ano de fabricação;
- categoria do vaso.

- registro de segurança;
- projeto de alteração ou reparo;
- relatórios de inspeção de segurança;
- certificados de inspeção e teste dos dispositivos de segurança.

As geometrias mais comuns dos vasos de pressão são as seguintes:



Formatos mais comuns de vasos de pressão (segundo Silva Telles, 2013)

#### 4. Referências

ASME BPVC Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels

ASME BPVC Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2: Alternative Rules for Construction of Pressure Vessels

ASME BPVC Section I: Rules for Constructions of Power Boilers

ASME BPVC Section II Part A - Materials-Ferrous Materials Specifications

ASME BPVC Section II Part D - Materials-Properties

ASME BPVC Section V Nondestructive Examination

ASME BPVC Section IX Welding and Brazing Qualifications

ASME B 16.5 - Pipe Flanges and Flanged Fittings NPS 1/2 Through NPS 24

ASME B16.47 Large Diameter Steel Flanges: NPS 26 through NPS 60

ASME PCC 1 Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly

Petrobras Norma N 253 - Projeto de Vaso de Pressão

Petrobras Norma N-268 - Fabricação de Vaso de Pressão

Petrobras Norma N- 266 Apresentação de Projeto de Vaso de Pressão

Petrobras Norma N-1500 - Vasos de Pressão Folha de Dados

Petrobras Norma N-2054 - Acessório Externo de Vaso de Pressão

ABNT NBR 6123 - Forças devidas ao Vento em Edificações

Norma Regulamentadora nº 13 - Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento

<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/2022/portaria-ndeg-1-846-nova-nr-13.pdf>

#### 5. Unidades de medida

As unidades de medida comumente utilizadas no projeto são as seguintes:

* Temperatura	- °C
* Pressão interna	- kgf / cm <sup>2</sup> manométrica
* Pressão externa ou vácuo	- mm H <sub>2</sub> O
* Volume	- m <sup>3</sup>
* Vazão de gases e vapor	- kg / h
* Energia térmica	- kcal
* Coeficiente de transferência de calor	- kcal / h m <sup>2</sup> °C
* Viscosidade	- cP
* Diâmetro de tubo	- polegada
* Diâmetro de bocal	- polegada
* Diâmetro de parafuso, estojo e porca	- polegada
* Diâmetro de vasos, torres e reatores	- m
* Nível de ruído	- dB
* Área	- m <sup>2</sup>
* Volume	- m <sup>3</sup>
* Comprimento	- m
* Poder calorífico para líquido	- kcal / kg
* Poder calorífico para gases	- kcal / Nm <sup>3</sup>
* Energia elétrica	- W
* Frequência	- hz

#### 6. Projeto mecânico de Vaso de Pressão

O projeto mecânico consiste, basicamente, na seleção de materiais construtivos e no dimensionamento mecânico estrutural do vaso e seus componentes, com base no projeto analítico, que é definido pelo processo.

O projeto mecânico é apresentado por um desenho, chamado de “desenho mecânico”, que contém uma tabela de dados, com as características de operação e projeto do vaso de pressão; desenho

esquemático do vaso com formato geométrico, do casco e tampos; dimensões gerais e espessuras; lista de bocais e bocas de visita e componentes internos e externos.

Geralmente, o projeto mecânico ou de dimensionamento é elaborado pela projetista e repetido pelo fabricante, que é o responsável final pelo fornecimento do vaso de pressão.

As informações requeridas para a execução dos projetos mecânico e de fabricação são:

- Função do vaso na planta do processo.
- Indicação de serviço especial (exemplos: H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, baixa temperatura, cáustico, tóxico, etc.).
- Fluidos de entrada e saída
- Peso específico do(s) fluido(s).
- Elevação do nível de operação normal do fluido (para vasos que trabalhem parcialmente cheios).
- Pressão e temperatura de operação.
- Pressão e temperatura de projeto.
- Pressão parcial de Hidrogênio (no caso de vasos em serviço com Hidrogênio ou com fluidos contendo Hidrogênio).
- Temperatura mínima de Metal [“Minimum Design Metal Temperature” (MDMT)] de projeto
- Pressão de abertura da válvula de alívio e segurança: PSV
- Pressão Máxima de Trabalho Admissível - PMTA (“MAWP - Maximum Allowable Working Pressure”).
- Componente que limita a PMTA (casco, tampos, bocais e outros).
- Pressão de teste hidrostático, ponto de medição e local do teste (fábrica ou campo).
- Normas e Códigos para projeto, fabricação, inspeção e teste do equipamento, com indicação de edição e adenda.
- Sobresspessura para corrosão (para cada serviço e cada material).
- Tratamentos térmicos que devam ser feitos e em quais componentes.
- Testes de impacto requeridos ou não, indicação dos componentes a que se aplicam e da norma e temperatura do teste.
- Eficiência de junta adotada para soldas de casco e tampo.
- Inspeção radiográfica de soldas: tipo, extensão (parcial ou total), com indicação dos componentes a que se aplicam.
- Indicação de isolamentos térmicos ou de revestimentos refratários, com especificação do material, suportação, espessuras e finalidade.
- Indicação de revestimentos anticorrosivos com especificação do material e espessuras.
- Pesos do equipamento quando vazio, sem os internos removíveis; quando em operação e quando cheio de água; pesos de peças internas e externas e pesos de isolamento térmico e de revestimentos refratários; momentos e cortantes máximos devidos ao vento sobre a base.
- Diagrama de carga sobre as fundações, contendo:
  - a. Grandeza, direção e sentido de todas as forças e momentos que o equipamento exerce sobre as suas fundações, em qualquer situação de operação normal ou eventual, em teste hidrostático, em montagem e em manutenção: essas forças e momentos devem ser referidos a três eixos coordenados ortogonais, um dos eixos coincidente com a linha de centro do vaso;
  - b. Amplitude e frequência de vibrações transmitidas às fundações, quando for o caso.
- Condição de fornecimento do equipamento: inteiro ou em seções.
- Especificação completa de todos os materiais construtivos do vaso (cascos e tampos) e de todos os seus componentes e acessórios, tais como: flanges, bocais, suportes, espelhos e tubos internos, peças internas e externas, parafusos, juntas de vedação e revestimentos; a especificação deve ser feita com a identificação completa, segundo a organização normalizadora (ABNT, ASME, ASTM, API e outras), incluindo classe, tipo e grau do material.
- Seleção do tipo de tampos.
- Dimensões do vaso (diâmetros, espessuras, comprimentos entre tangentes, raios de curvatura, distâncias, elevações e outros), dos acessórios e peças internas e externas.
- Material e dimensões e espessuras de suportes de tubulação, chapa de base: saia, colunas, berços, sapatas e outros acessórios externos
- Tipos de internos, material, dimensões e suportação
- Posição cotada, tipo e diâmetro dos chumbadores.

- Localizações (elevação, projeção e orientação) de bocais, bocas de visita, instrumentos, peças internas e externas, e outros.
- Tabela de bocais e bocas de visita, contendo: item, diâmetro, quantidade, descrição de serviço; classe de pressão dos flanges, espessura do pescoço, tipo de flange, tipo da face do flange.
- Categoria do vaso, de acordo com a Norma Regulamentadora no 13 (NR-13).
- Localização da saia, colunas, berços ou outros suportes do equipamento com posição e dimensões dos furos chumbadores.

### 7. Folha de dados para projeto mecânico e de fabricação de vasos de pressão.

A seguir é apresentado um exemplo de folha de dados, para projeto de vaso de pressão.

<b>Folha de Dados para Projeto de Vasos de Pressão</b>	
<b>IDENTIFICAÇÃO</b>	
ITEM	
QUANTIDADE	
SERVIÇO	
<b>DADOS DE OPERAÇÃO</b>	
FLUIDO	
DENSIDADE	
PRESSÃO MÁXIMA DE OPERAÇÃO, kgf/cm <sup>2</sup>	
SERVIÇO HIDROGÊNIO - PRESSÃO PARCIAL, kgf/cm <sup>2</sup>	
TEMPERATURA MÁXIMA OPERAÇÃO, °C	
TEMPERATURA MÍNIMA DE OPERAÇÃO, °C	
<b>DADOS DE PROJETO</b>	
CÓDIGO	
EDIÇÃO/ADENDA	
PRESSÃO DE PROJETO, kgf/cm <sup>2</sup>	
TEMPERATURA DE PROJETO, °C	
TEMPERATURA MÍNIMA DE METAL (MDMT) °C	
DIÂMETRO INTERNO, mm	
COMPRIMENTO ENTRE TANGENTES, mm	
TIPO DE TAMPOS	
RADIOGRAFIA DO CASCO	
RADIOGRAFIA DOS TAMPOS	
EFICIÊNCIA DAS SOLDAS DE CASCO	
EFICIÊNCIA DAS SOLDAS DOS TAMPOS	
SOBRESPESSURA PARA CORROSÃO, mm	
CATEGORIA VASO - NR13	
<b>MATERIAIS</b>	
CASCO	
TAMPOS	
BOCAIS - FLANGES	
BOCAIS - PESCOÇO	
BOCAIS - LUVAS	
BOCAS DE VISITA - FLANGES	
BOCAS DE VISITA - PESCOÇO	
BOCAS DE VISITA - TAMPOS	

REFORÇO DOS BOCAIS E BOCAS DE VISITA
TUBOS - PRESSURIZADOS
TUBOS - NÃO PRESSURIZADOS
CURVAS
ACESSÓRIO SOLDADO - INTERNOS
ACESSÓRIO SOLDADO - EXTERNOS
INTERNOS REMOVÍVEIS
VÁLVULAS (BORBULHADORES)
PARAFUSOS E PORCAS - EXTERNOS
PARAFUSOS E PORCAS - INTERNOS
JUNTAS - EXTERNAS
JUNTAS - INTERNAS
SUPORTES DO VASO
CHUMBADORES

CARGAS SOBRE A BASE	
PESO VAZIO, kgf	
PESO INTERNOS REMOVÍVEIS, Kgf	
PESO NA MONTAGEM, Kgf	
PESO EM TESTE, Kgf	
PESO EM OPERAÇÃO, Kgf	
PESO EM PARADA, Kgf	
PESO EM EMERGÊNCIA, Kgf	
MOMENTO MONTAGEM, kgf.m	
MOMENTO MÁXIMO, kgf.m	
CORTANTE MÁXIMO, kgf	
PRESSÃO MÁX. ADMISSÍVEL	
CORROÍDO E QUENTE, Kgf/cm <sup>2</sup>	
LIMITADA POR, kPa / Kgf/cm <sup>2</sup>	

CONSTRUÇÃO	
26	
27	TRATAMENTO TÉRMICO
28	MOTIVO
29	TESTE DE IMPACTO, J @ °C
30	NORMA
31	ELETRODOS
32	ISOLAMENTO TÉRMICO
33	PROTEÇÃO CONTRA FOGO
34	PINTURA
35	TRANSPORTE <input type="checkbox"/> UMA PEÇA <input type="checkbox"/> EM SEÇÕES
36	REVESTIMENTO INTERNO
37	

CÓDIGO E NORMAS PARA PROJETO E CONSTRUÇÃO	
CÓDIGO DE PROJETO E CONSTRUÇÃO	ASME SECTION VIII DIV 1
NORMAS TÉCNICAS	ASME BPBC SECTION II PART A ASME BPVC SECTION II PART D ASME BPVC SECTION IX ASME BPVC SECTION V ASME B 16.5 ASME B16.47 ASME PCC 1  PETROBRAS NORMA N 253 PETROBRAS NORMA N-268 PETROBRAS NORMA N- 266 PETROBRAS NORMA N-1500 PETROBRAS NORMA N-2054  ABNT NBR 6123  NORMA REGULAMENTADORA Nº 13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO, TUBULAÇÕES E TANQUES METÁLICOS DE ARMAZENAMENTO
FOLHA DE DADOS	
DESENHO MECÂNICO	

BOCAIS							
ITEM	DIÂMETRO	QUANTIDADE	CLASSE DE PRESSÃO	TIPO	FACE	ESPESSURA PESCOÇO	SERVIÇO

## 8. Projeto de fabricação de Vaso de Pressão

O projeto de fabricação de vasos de pressão deve incluir a elaboração e aprovação dos seguintes documentos: desenhos do projeto mecânico e de fabricação certificados, liberados para execução, e especificações e procedimentos de fabricação e montagem.

### 8.1. Desenhos de fabricação

Os desenhos devem ser feitos em tantas vistas, cortes e detalhes que forem necessários, identificando:

- Listagem de todos os componentes, devidamente identificados nos desenhos, com indicação da especificação de material de construção, espessura, dimensão e peso.
- Diâmetro interno e comprimento de cada corpo cilíndrico ou seção de concordância.
- Espessuras de todos os cascos, tampos, pescoços de bocais e todas outras peças..
- Tipo de tampos, diâmetro e raios de curvatura dos tampos (caso dos tampos hemisféricos ou torisféricos) e das seções de transição ou de concordância.
- Dimensões e espessuras de reforços externos ou internos.
- Posição, elevação, orientação e projeção cotadas de todos os bocais e bocas de visita do vaso.
- Diâmetro nominal, tipo, classe de pressão *rating*, faceamento e norma dimensional de flanges normalizados, tanto do corpo do vaso como dos bocais e bocas de visita.
- Desenho detalhado de flanges não normalizados, informando todas as dimensões do flange, dos parafusos e estojos, arruelas e porcas.
- Diâmetro nominal, tipo, classe de pressão *rating*, das luvas de bocais.
- Dimensões e detalhes completos de todos os bocais para solda de topo .
- Dimensões e espessuras dos suportes tipos pernas, saias e colunas para vasos verticais; e das chapas de alma e de sela dos berços para vasos horizontais. Para os berços é necessário indicar a distância entre berços, dimensões e espessuras dos reforços do casco (se necessários) e ângulos abrangidos pela alma do berço e pela sela.
- Quantidade, diâmetro, projeção e posição cotada dos chumbadores.



- Posição, elevação, orientação e desenho de detalhes de todos os anéis, orelhas, parafusos e demais ferragens de fixação de escadas, plataformas, turcos, tubulações, instrumentos, isolamento térmico, revestimentos refratários, e outros.
- Localização e desenhos de escadas e plataformas.
- Posição, elevação, orientação e desenho de detalhe dos turcos ou outros dispositivos de içamento e manobra de cargas.
- Localização e tipo de todas as soldas, incluindo soldas longitudinais e circunferenciais, soldas nos tampos, flanges, pescoços, reforços, saias, berços, colunas, peças internas e externas e outros.
- Dimensões completas, espessuras e todos os detalhes de peças internas tais como bandejas, anéis de suporte e vigas de sustentação de bandejas e de leitos de recheios, borbulhadores, distribuidores, vertedores, defletores, quebra-jatos, espelhos, feixes tubulares, suportes internos, alçapões e passagens internas, revestimentos internos e outros.
- Desenho de placa de identificação.
- Para as soldas do corpo, dos bocais e das estruturas devem ser elaborados desenhos com detalhes de cada solda, mostrando chanfros, sequência de soldagem, solda raiz, reforço da solda completa, consumíveis a empregar, tipo de soldagem e exigências de inspeção ENDS a serem executados em cada solda do vaso.

## **8.2. Procedimentos de fabricação**

O seguintes documentos, referentes às etapas de fabricação e controle de qualidade da fabricação do vaso de pressão, devem ser elaborados e apresentados para aprovação.

- PIT- Plano de Inspeção e Teste da fabricação;
- Especificação técnica de compra de materiais e consumíveis de solda;
- Procedimento de PMI- Identificação Positiva de Material (Positive Material Identification) ;
- Procedimento de identificação e transferência de marcação de materiais;
- Procedimentos de execução de ENDS Ensaios Não-Destrutivos;
- EPS, RQPS, IEIS, RQS e planos de soldagem;
- Procedimento de testes de recebimento de consumíveis de solda (Screening Test);
- Plano de execução dos testes das soldas de produção, para comparação com os valores da qualificação;
- Procedimento de torqueamento;
- Procedimento de teste de vedação (estanqueidade) das soldas de chapa de reforço de bocais, bocas de visita e de locais de suportes no corpo do vaso;
- Procedimento de exame do teor de ferrita;
- Procedimento de exame de dureza;
- Procedimento de refratamento;
- Procedimento de aplicação de revestimento interno;
- Procedimento de aplicação de isolamento térmico;
- Procedimento de aplicação do refratamento;
- Procedimento para execução de outros testes requeridos, incluindo os equipamentos a serem utilizados;
- Procedimento de reparos, incluindo a forma de remoção do defeito, o reparo propriamente dito e os tipos de exames a serem feitos após o reparo;
- Mapa de defeitos reparados;
- Protocolo para exame visual e dimensional, indicando as tolerâncias;
- Procedimento de tratamento térmico;
- Procedimento de teste hidrostático;
- Procedimento de teste pneumático;
- Procedimento de drenagem, limpeza e secagem do vaso após o teste hidrostático;
- Procedimento de aplicação revestimento externo (pintura etc.);
- Procedimento para decapagem, passivação e inertização;
- Procedimento para transporte e armazenamento;
- Procedimento das etapas de instalação no local de operação.

## **9. Suportação de vasos de pressão**

Todo vaso deve ter suporte próprio, não se admitindo que seja suportado por tubulações.

A depender de seu formato ou geometria, o vaso de pressão pode ser apoiado na posição vertical ou horizontal.

Há cargas concentradas impostas ao corpo do vaso, na região onde os apoios ou suportes estão fixados, a serem calculadas e avaliadas.

Assim, as tensões resultantes, primárias e secundárias, na parede metálica dos locais de fixação dos suportes ao corpo do vaso, devem ser calculadas e verificadas, para qualquer combinação de carregamentos possíveis (conforme ASME VIII 1 UG-22), nas situações de vaso vazio e vaso em operação, e nas condições de pressão e temperatura de projeto..

Para o carregamento devido ao teste hidrostático, essas tensões devem ser calculadas para o vaso cheio d'água, antes e após a pressão de teste ser aplicada.

#### Referência:

ASME VIII 1 Nonmandatory Appendix G

Suggested good practice regarding piping reactions and design of supports and attachments

#### 9.1. Vasos verticais

Os vasos verticais podem ser suportados por meio de saias cilíndricas ou cônicas, pernas, colunas, anel metálico ou sapatas.

Os vasos verticais menores são suportados por olhais, sapatas pernas ou colunas suportes fixados ao corpo, e se soldados diretamente ao vaso, ao menos os 500 mm superiores das pernas ou colunas devem ser do mesmo material do corpo do vaso.

Estes suportes devem estar o mais próximo possível do casco, para minimizar as tensões de flexão locais no casco, devidas às forças e momentos impostas ao casco, na região onde os apoios estão fixados.

Para estes vasos ainda há a opção de suportação sobre um anel de viga soldado, fixado ao redor do casco localmente reforçado, e as pernas ou colunas são fixadas nesse anel..

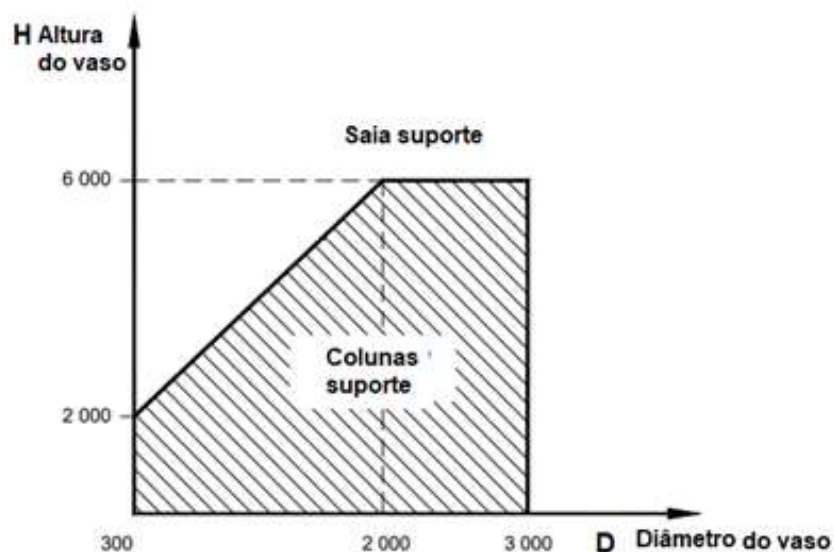
As pernas ou colunas que suportam vasos verticais instalados podem produzir tensões secundárias na parede do vaso. A fixa o da perna ou coluna à parede deve ser de forma a evitar a alta concentra o de tensões, que podem ocorrer localmente.

A soldagem de uma chapa de reforço, de mesmo material do corpo do vaso, com parede mais espessa, na região da fixa o do suporte, ou mesmo um anel completo de chapa, reduz o nível das tensões secundárias.

Essas soldas devem ser contínuas (não intermitentes), estendendo-se completamente ao redor da periferia da chapa ou anel de reforço, para evitar a concentra o local de tensões. nos intervalos sem solda.

Os vasos verticais maiores e mais pesados são suportados por saia soldada diretamente ao corpo do vaso.

A sele o do tipo de suporte de vasos verticais deve ser feita de acordo com a figura a seguir, a não ser que outras exigências sejam aplicáveis.



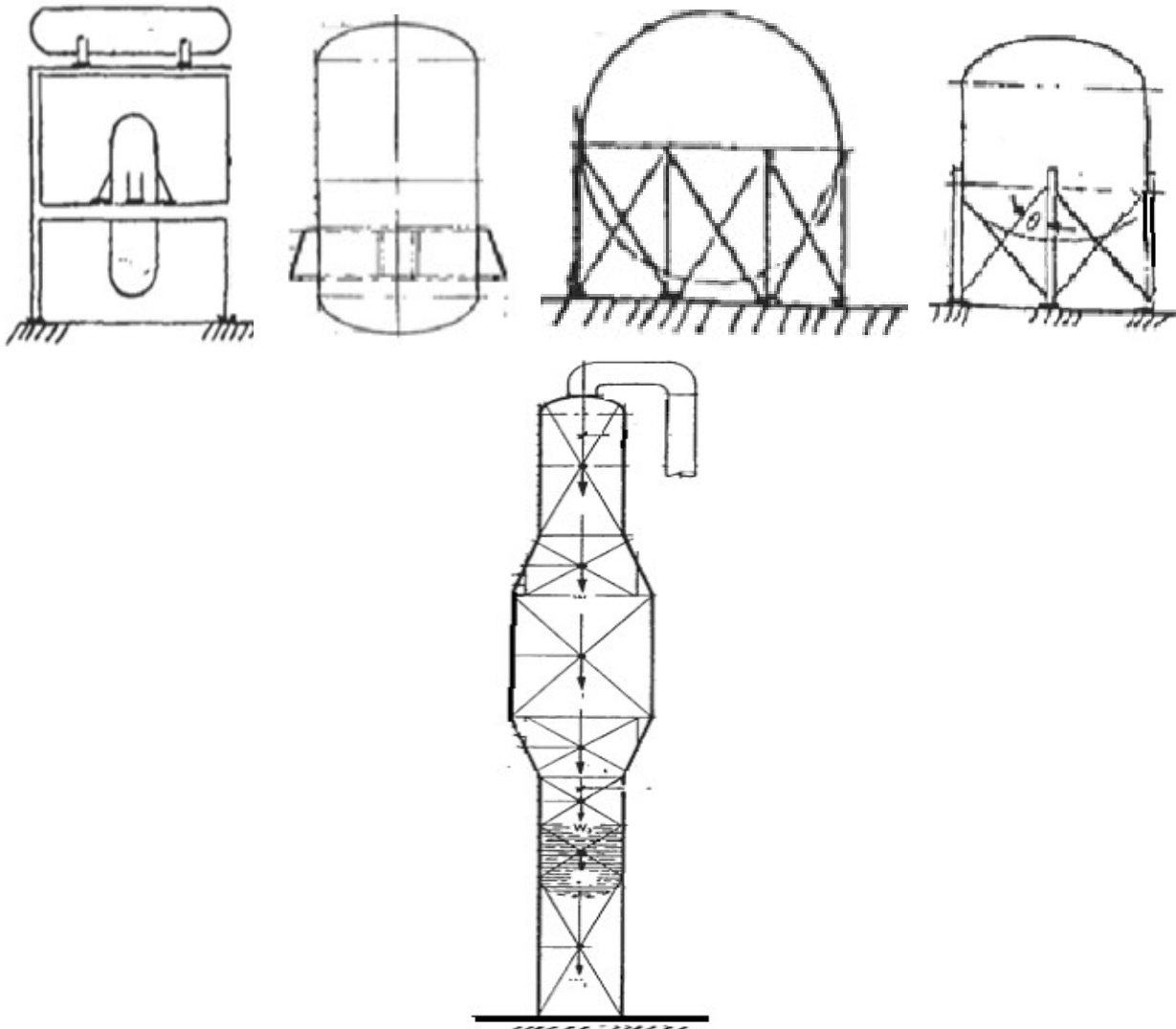
H Altura total do vaso, incluindo seu suporte e D Diâmetro interno do vaso

O suporte do tipo saia deve ser usado quando houver possibilidade de vibração, como no caso de vasos conectados à compressores ou com misturadores rotativos acoplados. As torres e os reatores devem ser suportados por meio de saia, com espessura mínima de 6,3 mm e, pelo menos os 1000 mm superiores da saia devem ser do mesmo material que o corpo do equipamento.

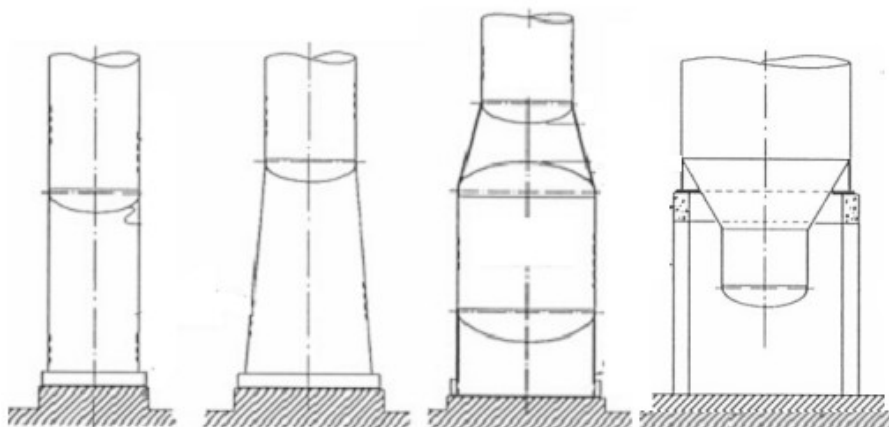
A solda da saia ao casco deve ser localizada de forma que não interfira com a solda do casco ao tampo inferior e permita a inspeção dessa solda.

As saias de suporte devem ter, no mínimo, uma abertura para acesso ao interior da saia.

A abertura para acesso ao interior da saia, bem como as aberturas para passagem de tubulações através da saia, devem ser devidamente reforçadas.



**Suportação comum de vasos de pressão: sapatas, anel metálico, colunas, pernas e saia**



**Tipos de saia: cilíndrica simples, cônica, cilíndrica com vasos superpostos e cilíndrica sobre colunas**  
 petroblog-Santini

## 9.2. Vasos horizontais

Os vasos horizontais devem ser apoiadas por meio de selas ou berços metálicos.

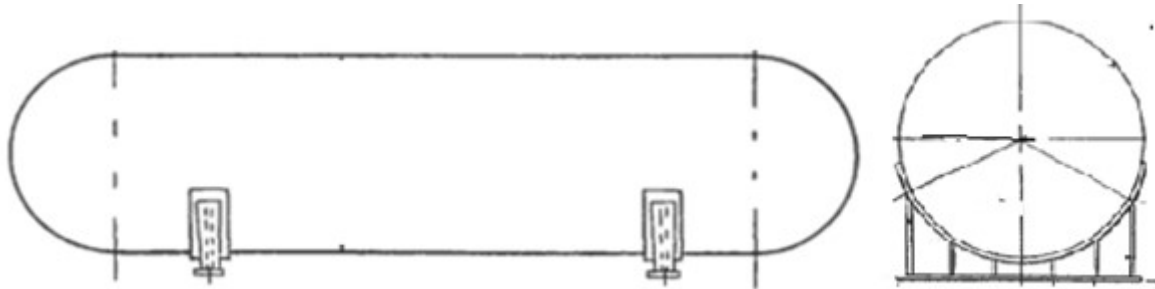
Normalmente são dois berços, soldados ao casco e junto aos tampos, que devem estender por pelo menos um terço da circunferência do casco, e se necessário o vaso pode ser reforçado por anéis de reforço, na região da suportação e em seções intermediárias.

O vaso horizontal deve ser suportado por 2 selas ou berços de construção metálica, abrangendo no mínimo 120° de circunferência do vaso.

Os berços devem ser situados simetricamente em relação ao meio do comprimento do vaso.

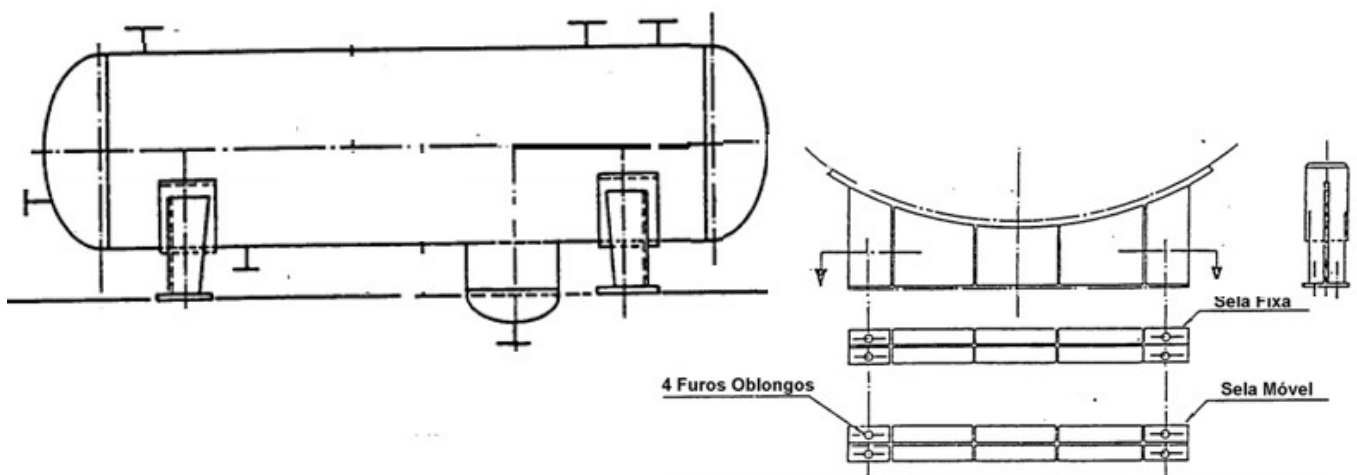
Um dos berços, chamado de móvel, deve ter sempre os furos alongados para os chumbadores, de modo a acomodar a dilatação própria do vaso.

A chapa calandrada de cada berço deve ser de mesmo material do casco e soldada ao vaso por um cordão de solda contínuo.



**Suportação de vasos horizontais sobre selas metálicas**

É comum o corpo do vaso horizontal ter uma pequena declividade na direção do berço móvel e do dreno do casco.



**Vaso horizontal com declividade**

As selas do vaso horizontal devem também ser localizadas de maneira a não interferirem com as soldas circunferenciais do vaso e que permitiram a inspeção integral dessas soldas.

## 10. Serviços de vasos de pressão

Serviço de um equipamento ou de sistema de tubulações é um termo geral aplicável a um conjunto de características operacionais, físicas e químicas do fluido processado e dos contaminantes presentes, que envolvem:

- :Pressão e temperatura
- :Deteriorações localizadas, corrosão e/ou erosão generalizadas, causadas pelo fluido circulante;
- Inflamabilidade e riscos de explosividade;
- Danos ao meio ambiente;
- Toxicidade aos seres humanos.

Estas características estabelecem as bases para projeto e construção e, após entrada em operação, as condições de inspeção e manutenção do equipamento, influenciando em::

- Seleção de material dos componentes;
- Limitações de condições operacionais: temperatura, pressão e vida útil,

- Requisitos específicos de fabricação, tratamento térmico, soldagem, inspeção e ensaios não destrutivos;
- Regras de ligação entre os componentes: solda, flanges, roscas;
- Salvaguardas para segurança: válvulas de alívio de pressão, *fire proofing*;
- Condições e prazos de inspeção, após a entrada em operação.

Há os serviços comuns ou normais, isto é, sem características particulares, e os serviços especiais. Os principais serviços normais de vasos de pressão são:

- Serviço com vapor d'água e condensado de vapor d'água, de baixa pressão;
- Serviço com ar;
- Serviço com gás inerte como Nitrogênio;
- Serviço com água, incluindo água de alimentação de caldeira, água destilada;
- Serviço com óleo lubrificante, óleo de selagem.

Os principais serviços especiais de vasos de pressão são:

- Serviço com combustíveis inflamáveis, que operem em temperatura igual ou superior à temperatura de fulgor "*flash*" ou na temperatura de autoignição:
  - Líquidos inflamáveis:  
Óleo combustível (OC) para queimadores de fornos, caldeiras e incineradores, acima de 200°C;  
Resíduo de vácuo (RV) acima de 200°C;  
Resíduo atmosférico (RAT) acima de 200°C.  
Gasóleo de circulação (GOC) acima de 200°C;  
Óleo clarificado (OCLA) acima de 200°C.
  - Gases inflamáveis:  
Gás residual de processo, como gás para incinerador ou tocha;  
Gás combustível tratado ou não tratado, para queimadores de fornos, caldeiras e incineradores;  
GLP tratado ou não tratado;  
Gás natural.
- Serviço com fluidos auto refrigerantes, que reduzem a temperatura na descompressão e vazamentos, e causam o risco de fratura frágil
- Serviços com fluidos de vaporização rápida, durante a liberação ou vazamento, criando vapores que podem formar uma mistura explosiva.

Nota:

Os fluidos que podem vaporizar rapidamente são aqueles com temperaturas de ebulição atmosférica inferiores a 10°C ou quando o ponto de ebulição atmosférica é abaixo da temperatura de operação.

- Serviço com fluidos contendo Sulfeto de Hidrogênio-H<sub>2</sub>S acima de 3% em peso; .
- Serviço com Hidrogênio.
- Serviço com produtos ou substâncias tóxicas;
- Serviço com água de caldeira, vapor d'água ou condensado em altas pressões, correspondentes à classe de pressão 600 ou acima;.
- Serviços com fluidos que causam corrosão sob tensão, como
  - Fragilização pelo Hidrogênio: HIC e SOHIC.
  - Trincamento por sulfetos ou *Sulfide Corrosion Cracking-SCC* com H<sub>2</sub>S úmido;:
  - Aminas > 2% em peso;
  - Cáusticos > 2% em peso;
  - Amônia em presença de água;
  - DEA, MEA e Soda cáustica, puras ou contaminadas com hidrocarbonetos;
  - Cloretos.
- Empolamentos pela presença de H<sub>2</sub> no fluido de processo , em altas temperaturas;
- Meios altamente corrosivos, taxas superiores a 0,25 mm/ano:
  - Enxofre > 3% peso em temperaturas > 200°C;
  - CO<sub>2</sub> úmido;
  - Ácidos diluídos.
- Meios altamente erosivos:
  - Catalisadores finos;
  - Borrões de coque;
  - Vapor d'água com arraste de condensado;
  - Correntes líquidas com sólidos em suspensão em alta velocidade.

- l. Fratura frágil por redução de temperatura no caso de despressurização súbita de gases liquefeitos à pressão atmosférica, por vazamento (GLP, GLN, etc.);
- m. Fragilização metalúrgica de aços de baixa liga Cr-Mo, em temperaturas que levam à transformações metalúrgicas com a redução da tenacidade a frio.
- n. Serviço em temperatura elevada, na faixa do fenômeno de fluência ou *creeping*;
- o. Serviço com fluidos que requerem alta pureza, como alimentícios e farmacêuticos;
- p. Serviço cíclico de pressão e/ou temperatura e vibração.

### 11. Projeto e dimensionamento de Vasos de Pressão

O código ASME Section VIII Division 1 *Rules for construction of pressure vessel Division 1*, de projeto e construção de vasos de pressão, apresenta as fórmulas de cálculo referentes às condições de pressão interna e vácuo, das partes que compõem o vaso.

Porém, o próprio ASME alerte que há diversas outras condições de carregamento a serem consideradas, conforme parágrafo ASME VIII 1 UG-22 Loadings.

O dimensionamento dos vasos ou parte dos vasos, sujeitos à pressão interna, deve considerar a pressão indicada no projeto.

O dimensionamento para resistir ao vácuo, tanto em regime normal de operação como em condições anormais ou transitórias, deve ser no mínimo, para a situação de vácuo total, qualquer que seja o valor do diferencial de pressão.

Adicionalmente, o ASME VIII 1 apresenta os detalhes construtivos recomendados, para se manter um nível aceitável das tensões secundárias localizadas em mudanças de geometria e descontinuidades, como bocais e suportes..

O uso desses detalhes não isenta o Fabricante da responsabilidade do projeto com relação à consideração de tensões associadas a outras condições, como cargas cíclicas, fadiga e fluência *creeping*, e eventos transitórios, como partida, desligamento, operação intermitente, ciclo térmico, choque térmico, golpe de aríete, etc., a serem definidas pelo Usuário.

Além disso, o Fabricante é advertido de que certos detalhes de fabricação, permitidos por esta Divisão 1, podem resultar em trincas nas soldas associadas às zonas afetadas pelo calor durante a soldagem (HAZ-*Heat Affected Zone*), e em vasos projetados para uso em temperaturas elevadas. As temperaturas elevadas, para os propósitos desta Divisão 1, são aquelas em que as tensões admissíveis do ASME Seção II Parte D são baseadas em propriedades dependentes do tempo, ou seja, na zona de fluência *creeping*.

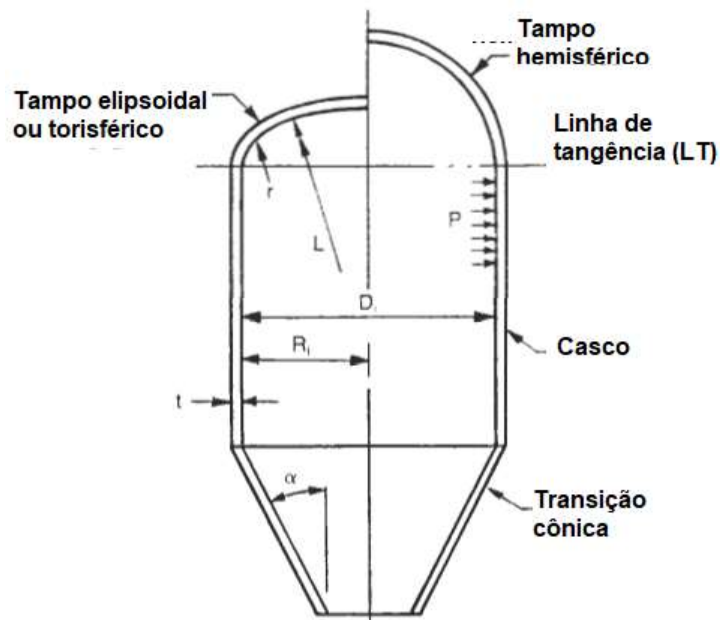
As faixas de temperaturas, função do material, a partir de que o fenômeno *creeping* ou fluência é esperado acontecer, são:

Material	Temperatura de início do regime de fluência
Aço Carbono <i>Carbon Steel</i>	370 a 400°C
Aço baixa liga <i>Low alloy Cr-Mo steel</i> 1 ¼ Cr 0.5 Mo 2 ¼ Cr – 1 Mo <i>Low alloy steel</i>	440 a 455°C
Aço baixa liga <i>Low alloy Cr-Mo steel</i> 9 Cr – 1 Mo	490 a 510°C
Aço Inoxidável Austenítico <i>Austenitic Stainless Steel</i> 18Cr-8Ni, Type 304 16Cr-12Ni-2Mo, Type 316 18Cr-8Ni-0.035Cmax, Type 304L 18Cr-8Ni-Mo-0.035Cmax, Type 316L	480 a 595°C

A publicação Bulletin WRC 470 *Recommendations for design of vessels for elevated temperature service* “Recomendações para projeto de vasos de pressão para serviço de temperatura elevada” contém informações e detalhes de projeto recomendados, para uso em serviços de temperaturas elevadas.

Os componentes mais comuns de vasos de pressão são:

- Corpo normalmente cilíndrico, cônico ou esférico, chamado de casco;
- Tampos de fechamento das extremidades do casco;
- Suportes próprios e para tubulações conectadas;
- Bocais de interligação com tubulações;
- Bocas de visita ou de inspeção interna;
- Internos: bandejas, recheios, *demisters*, distribuidores de líquido, chicanas;
- Turcos para o tampo das bocas de visita;
- Turco no topo do vaso para movimentação de peças. .



Partes ou componentes principais de um vaso de pressão

A seguir são listadas as principais recomendações e regras do código ASME Seção VIII Divisão 1, para projeto e construção de vasos de pressão.

Estão informados os títulos dos parágrafos do ASME origem dos requisitos informados.

## 12. Limitações do código ASME VIII 1

### U-1 INTRODUCTION SCOPE

#### 12.1. Equipamentos excluídos

As seguintes classes de vasos de pressão não estão incluídas no escopo desta Divisão 1.

- Recipientes para conter água sob pressão, incluindo aqueles contendo ar cuja compressão serve apenas como almofada de amortecimento, para operarem nas seguintes condições:

- (1) pressão de projeto  $\leq 300$  psi (2 MPa);
- (2) temperatura de projeto  $\leq 210^\circ\text{F}$  ( $99^\circ\text{C}$ ).

- Reservatórios de armazenamento de água quente, aquecido por vapor ou qualquer outro meio indireto, para operarem nas seguintes condições:

- (1) entrada de calor  $\leq 200.000$  Btu/h (58,6 kW);
- (2) temperatura da água  $\leq 210^\circ\text{F}$  ( $99^\circ\text{C}$ );
- (3) capacidade nominal de contenção de água  $\leq 120$  gal (450 L).

- Vasos de pressão para operarem com uma pressão interna ou externa  $\leq 15$  psi (100 kPa).
- Vasos de pressão com diâmetro interno, largura, altura ou seção transversal diagonal  $\leq 152$  mm (6 pol.), sem limitação de comprimento.
- Vasos de pressão para ocupação humana.
- Quando o vaso for componente de Caldeira de geração de vapor deve ser projetado e construído de acordo com os requisitos do código ASME Section I. Steam Boiler.

#### 12.2. Equipamentos incluídos

As regras desta Divisão foram formuladas com base em princípios de projeto e práticas de construção, aplicáveis a vasos de pressão projetados para pressões acima de 15 psi e não superiores a 3000 psi (20 MPa) (207 bar), com diâmetro interno maior que 150 mm (6 pol.).

Para pressões acima de 3.000 psi (20 MPa), desvios e acréscimos a essas regras são necessários, para atender aos requisitos dos princípios mais rigorosos de projeto e práticas de construção, para essas pressões mais elevadas.

**Nota:**

Com respeito à limitação de pressão interna de projeto do vaso, a Seção VIII do Código ASME contempla três Divisões:

- Divisão 1 cobre pressões de até 3.000 psi, ASME BPVC Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels
- Divisão 2 cobre pressões de até 10.000 psi; ASME BPVC Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2: Alternative Rules for Construction of Pressure Vessels
- Divisão 3 pode ser usada para pressão superior a 10.000 psi. ASME BPVC Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII- Division 3- Alternative Rules for Construction of High Pressure Vessels

### **13. Materiais para fabricação de vasos de pressão**

A tabela ASME VIII 1 Table UCS-23 relaciona os materiais de construção aprovados para uso em vasos de pressão:::::

- Chapas de aços carbono e de baixa liga;
- Forjados de aços carbono e de baixa liga;
- Tubos e tubings de aços carbono e de baixa liga;
- Parafusos e estojos de aços carbono e de baixa liga.

Para outros materiais consultar as tabelas:

ASME VIII 1 Table UHA-23 Aços de Alta Liga, Inoxidáveis e outros

ASME VIII 1 Table UNF-23.1 Metais Não Ferrosos Alumínio e Produtos de Liga de Alumínio

#### **13.1. Chapas**

Para os cascos, tampos e todas as outras partes do vaso, submetidas à pressão, requer-se que sejam especificados no projeto materiais aços acalmados, qualificados e reconhecidos pelo ASME Section II Part A.

Para os aços das partes pressurizadas recomenda-se que o teor de Carbono não seja superior a 0,30 %, sendo que para as chapas dos cascos e tampos, fabricados por soldagem, o teor de Carbono não seja superior a 0,26 %.

Aços com teor de Carbono superior aos limites acima podem ser empregados somente nos seguintes casos:

- a. Componentes não soldados, tais como: flange cego, espelho de trocador de calor e tampo de boca de visita;
- b. Chapas com espessura superior a 50 mm.

O emprego de ferro fundido e aços fundidos para partes e componentes de vasos de pressão não é permitido.

A utilização de materiais de chapa de aço semi-acalmado em partes pressurizadas, tais como SA-36 e SA-283, só é aceitável se, adicionalmente às restrições do parágrafo UCS-6 (b) do ASME Seção VIII Divisão 1, forem atendidas todas as seguintes condições:

- a. Vaso de pressão trabalhando com fluidos que não sejam enquadrados nas classes A, B ou C da NR-13;
- b. Vaso de pressão sem necessidade de tratamento térmico;
- c. Vaso de pressão sem requisitos de tenacidade e teste de impacto;
- d. Pressão e temperatura correspondentes à classe de pressão 150.

#### **13.2. Forjados**

Os flanges de bocais, reforços integrais de ligações casco ou tampo x bocal e casco ou tampo x boca de visita, flanges cegos usados como tampos de bocas de visita, espelhos de permutadores de calor devem ser de aços forjados qualificados e reconhecidos pelo ASME Section II Part A.

**Nota:**

É permitido o uso de anéis forjados de aço para fabricação de casco e tampo de vasos de pressão.



#### 14. Espessura mínima para fabricação a ser adotada

##### UG-16 GENERAL

Conforme estabelecido pelo ASME VIII 1 há as seguintes condições:

- Espessura mínima dos componentes de retenção de pressão.

A espessura mínima permitida para casco e tampos, após conformação, e independentemente da forma e material, deve ser 1/16 pol. (1,5 mm), excluindo qualquer tolerância à corrosão.

Sendo uma exceção a espessura mínima de casco e tampos usados em serviço de ar comprimido, serviço de vapor e serviço de água, construídos de materiais listados na Tabela UCS-23, que deve ser 3/32 pol. (2,5 mm), excluindo qualquer tolerância de corrosão.

- No entanto, por questões relativas a facilidades de fabricação, independentemente do valor calculado para a espessura, em vasos de aços Carbono e aços de baixa liga Cr-Mo, os cascos e tampos devem ter uma espessura mínima após fabricação igual ao maior dos 2 valores seguintes:

a)  $t_{mín} = 4,8 \text{ mm}$ ;

b)  $t_{mín} = 2,5 + 0,001 D_i + C$ .

Onde:

$t_{mín}$  é a espessura mínima, mm;

$D_i$  é o diâmetro interno, mm;

C é a sobresspessura de corrosão, mm.

- Para vasos de aços inoxidáveis e metais não ferrosos a espessura mínima não deve ser inferior a 2 mm.

A espessura final ou nominal do casco ou dos tampos é o somatório dos seguintes valores

- Espessura mínima calculada para resistir à pressão interna ou vácuo e aos demais carregamentos conforme ASME VIII 1 UG-22 Loadings;
- Sobresspessura de corrosão e/ou erosão;
- Tolerância de fabricação das chapas.

##### Nota:

Deve ser adotada uma sobresspessura mínima para corrosão de 1,5 mm para componentes do vaso de aço-carbono ou de aços de baixa liga, mesmo quando a taxa de corrosão estimada resultar em um valor inferior.

Exceto quando expressamente especificado em contrário o alinhamento de chapas de espessuras diferentes, no casco e nos tampos do vaso, deve ser feito pela superfície interna.

#### 15. Temperaturas de projeto

##### UG 20 DESIGN TEMPERATURE

A temperatura de projeto deve ser selecionada entre as temperaturas, máxima e mínima, capazes de ocorrerem na parede de metal do vaso de pressão, durante a operação, e são empregadas para seleção do material de construção do vaso e para determinação da espessura da parede.

A temperatura máxima é a que define a tensão máxima de tração do material a ser usada nos cálculos da espessura mínima do vaso.

A temperatura mínima é utilizada para avaliar a resistência do material às baixas temperaturas e às possíveis cargas de impacto, como golpes de aríete, choques térmicos, etc...

- **Máxima temperatura**

A temperatura máxima usada no projeto não deve ser menor que a temperatura média do metal (através da espessura) esperada sob condições operacionais e ambientais, na parte considerada.

Se necessário, a temperatura do metal deve ser determinada por cálculo ou por medição de equipamentos em serviço sob condições operacionais equivalentes.

- **Mínima temperatura.**

A temperatura mínima do metal usada em projeto deve ser a mais baixa esperada em operação, exceto quando temperaturas mais baixas são permitidas pelas regras desta Divisão (ver ASME VIII 1 UCS-66).

A temperatura média mínima do metal *MDMT-*Minimum Mean Metal Temperatura** deve incluir a temperatura operacional mais baixa, perturbações operacionais, autorrefrigeração, temperatura atmosférica e quaisquer outras fontes de resfriamento, e é a temperatura empregada para o teste de impacto *Charpy Impact Test*, quando necessário.

A temperatura mínima de projeto a ser utilizada nos cálculos, quando não indicada no projeto, deve ser determinada como -2°C ou a menor temperatura média diária da região de instalação do vaso, acrescida de 8°C, o que for menor.

O teste de impacto não é obrigatório para materiais de vasos de pressão que satisfaçam todos os itens a seguir:

(1) O material deve ser limitado ao P-No. 1, Gr. No.1 ou 2, e a espessura, conforme definido em ASME VIII 1 UCS-66(a) [ver também Fig. UCS-66.2], não deve exceder a indicada em (a) ou (b) abaixo:

(a) 1/2 pol. (13 mm) para materiais listados na Curva A da ASME VIII 1 Fig. UCS-66;

(b) 1 pol. (25 mm) para materiais listados na Curva B, C ou D da ASME VIII 1 Fig. UCS-66;

(2) O vaso já fabricado deve ser testado hidrostaticamente de acordo com ASME VIII 1 UG-99(b) ou (c);

(3) A temperatura de projeto não é maior que 345°C (650°F) nem menor que -29°C (-20°F);.

(4) As cargas de choque térmico ou mecânico não são um requisito do projeto;.

(5) O carregamento cíclico ou vibração não é um requisito do projeto.

## 16. Pressão de projeto

Pressão de projeto é a pressão utilizada juntamente com a temperatura de projeto do metal, para o cálculo da espessura mínima da parede metálica, podendo ser uma pressão interna ou externa. Devem ser considerados os vasos que operam pressurizados, a partir de 1,0 barg (15 psig), e os que operam em pressões negativas ou vácuo.

Para o dimensionamento de vasos, sujeitos à pressão interna, deve ser considerada a pressão indicada no projeto. Quando aplicável, a pressão estática, do líquido contido no vaso, deve ser adicionada à pressão de projeto, para determinar a espessura de qualquer região específica do vaso.

Para o dimensionamento de vasos, sujeitos à pressão externa, qualquer que seja o valor do diferencial de pressão, deve ser considerada a condição de vácuo total, em que a pressão absoluta interna é de 0 psi (0 kPa) e a pressão absoluta externa no vaso é de 15 psi (100 kPa).

Cada elemento de um vaso de pressão deve ser projetado para, pelo menos, a condição mais severa de pressão (incluindo a altura estática do líquido de operação) coincidente com a temperatura, esperadas em operação normal.

Prever um adicional ou margem adequada acima dessa pressão, para permitir prováveis picos de pressão no vaso..

A pressão de projeto também é usada para estabelecer a pressão do teste hidrostático ou pneumático e a pressão de abertura do dispositivo de segurança do vaso, normalmente uma válvula de alívio de pressão ou PSV.

Para o projeto de ligações flangeadas de bocais (classe pressão do flange, espessura do pescoço e reforço no corpo), sujeitas a esforços externos, normalmente, transmitidos por tubulações interligadas, se deve calcular a pressão equivalente a ser considerada, em lugar da pressão interna, conforme a seguir:

$$P_{eq} = \frac{16 M}{\pi G^3} + \frac{4 F}{\pi G^2} + P$$

$P_{eq}$  – pressão equivalente

$P$  – pressão interna

$G$  – diâmetro efetivo da junta

$F$  – força resultante externa

$M$  – momento resultante externo

## 17. Cargas a serem consideradas no dimensionamento

### UG-22 LOADINGS

Os carregamentos ou cargas a serem consideradas no projeto de um vaso de pressão devem incluir::

(a) pressão de projeto interna ou externa;

(b) peso do vaso vazio completamente montado e cheio de produto, em condições normais de operação ou de teste de pressão hidrostático ou pneumático;

(c) peso de equipamentos acoplados ao vaso, como motores, máquinas, outros vasos, tubulações, revestimentos e isolamento;

- (d) vaso completamente montado incluindo os internos e os suportes do vaso, como alças, anéis, saia, selas e pernas,
- (e) reações cíclicas e dinâmicas devido a variações de pressão ou térmicas, ou de equipamentos montados em um vaso, e carregamentos mecânicos como vibrações;
- (f) vento, neve e reações sísmicas;
- (g) reações de impacto, como as devidas a choque térmico e golpe de aríete do fluido;
- (h) gradientes de temperatura e expansão térmica diferencial;
- (i) pressões anormais, como as causadas por explosão de deflagração;
- (j) pressão de teste e carga estática coincidente.

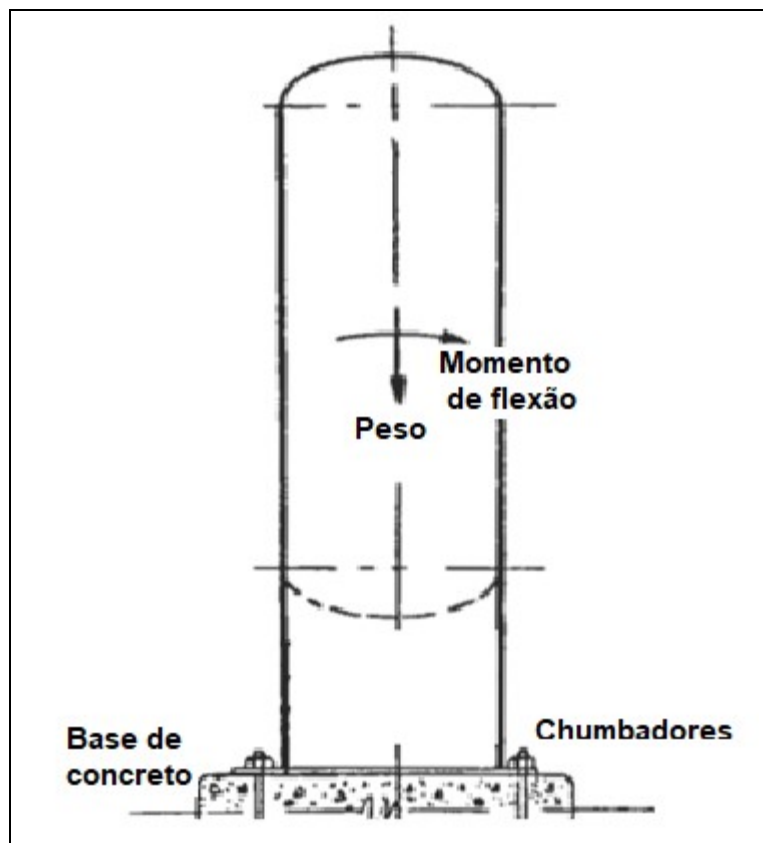
**Nota:**

As cargas de choque térmico ou mecânico e o carregamento cíclico ou vibração não são considerados nos projetos com base no Código ASME VIII 1.

As cargas, estática e dinâmica, devidas ao vento devem ser calculadas de acordo com a Norma ABNT NBR 6123.

O efeito de vibrações induzidas pelo vento, em vasos verticais, deve ser considerado na direção do vento e na direção perpendicular ao vento.

Para vasos verticais a flecha máxima devida ao vento não deve exceder 1/200 da altura do vaso. Além do próprio corpo do vaso, as plataformas, escadas, tubulações e outros acessórios, fixados externamente ao corpo do equipamento, devem ser incluídos na área efetiva de exposição ao vento, para cálculo da força e do momento de flexão, devidos ao vento.



**Cargas de peso e vento em um vaso vertical**

**18. Tensões máximas admissíveis**

**UG-23 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES**

As tensões que normalmente ocorrem em partes e componente pressurizados do vaso de pressão são:

- Tensões primárias ou de membrana

São tensões primárias, circunferenciais e longitudinais, que devem ser limitadas pelas tensões admissíveis definidas pelo próprio ASME Seção II Parte D. .

- Tensões secundárias ou localizadas

São tensões secundárias que ocorrem em regiões de descontinuidades geométricas, como ligação entre casco e tampos, bocais do vaso, mudanças de espessuras e locais de suportação, ou ocasionadas por cargas variáveis ou cíclicas como variações de pressão ou temperatura, vibração, choque térmico, fadiga, dentre outras.

**Nota:**

O ASME VIII 1 reconhece que altas tensões em descontinuidade localizadas podem existir em vasos projetados e fabricados de acordo com essas regras.

Porém, na medida do possível, as regras de projeto do Código ASME VIII 1, para os detalhes de constru o, foram escritas para limitar tais tensões a um nível seguro, consistente com a experiência.

O código ASME Sec VIII Div 1 não obriga a realizar uma análise de tensões, durante o projeto do vaso de pressão.

Quando for necessário uma análise de tensões, o código recomendado é o ASME Section VIII Division 2 *Rules for construction of pressure vessels Division 2-Alternative Rules*.

Porém é consenso que o projeto de vasos de pressão, utilizando as fórmulas e as regras para os detalhes de fabrica o, apresentados no código ASME VIII 1, são adequados para um nível seguro, consistente com a experiência.

Quando a espessura   pequena, em compara o com outras dimensões, as tensões resultantes da pressão são chamadas de tensões de membrana.

Essas tensões de membrana são tensões m dias de traço ou compressão e assumidas uniformes ao longo da parede do vaso.

Para as situa es em que a parede também é submetida a esforços de flexão, as tensões de flexão resultantes ocorrem em adi o às tensões da membrana.

  responsabilidade do projetista e/ou fabricante calcular e verificar as tensões na locais de liga o dos bocais com o casco e os tampos do vaso, para resistir às cargas externas transmitidas pelas tubula es, e nos locais de suporta o do vaso, providenciando reforços adequados, sempre que necessários.

Nos casos em que haja necessidade do cálculo de tensões provenientes de cargas concentradas, por exemplo em bocais, podem ser utilizados um dos seguintes métodos, quando aplicáveis:

- a. Análise de tensões pelo Métodos dos Elementos Finitos (MEF);
- b. Metodologia de acordo com os boletins do WRC-Welding Research Council, desde que atenda suas limita es de uso:
  - WRC Bulletin 107 Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings
  - WRC Bulletin 297 Local Stresses in Cylindrical Shells due to External Loadings on Nozzles
  - WRC Bulletin 537 Precision Equations and Enhanced Diagrams for Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells Due to External Loadings for Implementation of WRC Bulletin 107

Nos casos em que haja necessidade de análise de tensões por elementos finitos, em componente de vaso projetado pelo ASME VIII 1, a análise deve ser realizada conforme roteiro do ASME Section VIII Division 2 Part 5, utilizando-se a tensão admissível base correspondente ao ASME Section VIII Division 1.

As tensões primárias atuantes podem ser de traço e compressão.

- **Tensão de traço**

O valor máximo da tensão de traço atuante é a tensão admissível de traço permitida ao material de constru o, usado em um vaso de pressão construído sob as regras do ASME VIII 1.

Os valores das tensões de traço admissíveis para aços Carbono, Baixa Liga, Inoxidável e materiais Não Ferrosos são listadas nas seguintes tabelas do ASME Section II Part D:

<b>Tensões admissíveis conforme Código ASME Sec II Part D Projetos conforme ASME Sec VIII Div 1</b>
Table 1A Maximum Allowable Stress Values S for Ferrous Materials
Table 1B Maximum Allowable Stress Values S for Nonferrous Materials
Table 3 Maximum Allowable Stress Values S for Bolting Materials

- **Tensão de compressão**

O valor máximo da tensão de compressão longitudinal atuante é a tensão admissível, ao material de construção do vaso, que é usada no projeto de cascos cilíndricos, sem costura ou soldados de topo, submetidos a carregamentos que produzam compressão longitudinal no casco, e deve ser o menor dos seguintes valores:

(1) valor máximo de tensão de tração permitido;

(2) valor do “fator B” determinado conforme procedimento do parágrafo ASME VIII 1 UG-23 Maximum Allowable Stress Values item (b) The maximum allowable longitudinal compressive stress.

A espessura da parede de um vaso de pressão, computada por estas regras, deve ser calculada de forma que a combinação das cargas, listadas em ASME VIII 1 UG-22, que ocorram simultaneamente durante a operação normal do vaso, resulte nas seguintes tensões permitidas:

- Tensão de membrana circunferencial de tração, devido à pressão interna, que não exceda o valor de tensão admissível, das tabelas do ASME Section II Part D.
- Tensão de membrana longitudinal de tração, devido à pressão interna, mais a tensão de membrana longitudinal, devido à flexão causada pelos carregamentos de vento e peso, não exceda 1,5 vezes o valor de tensão admissível, das tabelas do ASME Section II Part D.
- Tensão de membrana longitudinal de compressão, devido à flexão causada pelos carregamentos de vento e peso, não exceda o valor do “fator B”.

Nota:

Exemplos, conforme o apêndice *Appendix L Examples Illustrating the Application of Code Formulas and Rules*, do efeito de cargas suplementares (ASME VIII 1 UG-22) em conjunto com a pressão interna, causando flexão longitudinal:

L-2 Thickness calculation for shells under internal pressure with supplemental loadings

L-2.1 Example of the use of UG-27(c) for Vertical Vessels

L-2.2 Example of the use of UG-27(c) for Horizontal Vessels

L-2.3 Examples of the Use of 1-5 for Cone-to-Cylinder juncture

Para partes não pressurizadas, pode ser considerado a tensão admissível das tabelas do ASME Section II Part D acrescida de 33,3 %.

### **19. Cálculo de espessura mínima de partes e componentes sujeitos à pressão interna**

Para o cálculo da espessura mínima do vaso se deve considerar a pressão definida no projeto. Porém após a determinação da espessura nominal ou final é obrigatório o cálculo da PMTA-Pressão Máxima de Trabalho Admissível *MAWP-Maximum Allowable Working Pressure* e a indicação da parte do vaso que limita essa pressão..

A PMTA é a pressão interna máxima admissível calculada para condição corroída e quente, isto é, espessuras dos componentes corroídas com o vaso na temperatura de projeto.

Para o cálculo da espessura mínima de qualquer componente pressurizado de vaso de pressão projetado de acordo com o ASME Seção VIII Divisão 1, a inspeção radiográfica para as juntas soldadas deve ser pelo menos a inspeção por pontos (“spot”), como especificado nos parágrafos ASME VIII UW-11 Radiographic And Ultrasonic Examination e ASME VIII 1 UW-12 Joint Efficiencies, e descrita no parágrafo ASME VIII 1 UW-52 Spot Examination of Welded Joints.

Portanto, não são admitidas soldas não radiografadas para componente pressurizado de vaso de pressão, mesmo nos casos em que o ASME VIII 1 permita esse tipo de solda.

Para determinação da eficiência da junta sodada consultar:

ASME VIII 1 Table UW-12 Maximum Allowable Joint Efficiencies For Arc And Gas Welded Joint

ASME VIII 1 Appendix 1 FIG. L-1.4-1 Joint Efficiency And Weld Joint Type — Cylinders And Cones

ASME VIII 1 Appendix 1 FIG. L-1.4-2 Joint Efficiency And Weld Joint Type — Heads

#### **19.1. Cascos cilíndricos e esféricos sujeitos à pressão interna**

##### **UG-27 THICKNESS OF SHELLS UNDER INTERNAL PRESSURE**

A espessura mínima requerida para o casco de vasos sob pressão interna não deve ser menor do que a calculada pelas fórmulas a seguir.

Nota:

Exceto que, conforme permitido pelo Apêndice 32. *Mandatory Appendix 32 Local Thin Areas in Cylindrical Shells and In Spherical Segments of Shells*, são aceitáveis espessuras localizadas menores que as

calculadas pelas fórmulas, em cascas cilíndricas ou esféricas, em tampos hemisféricos e em segmentos esféricos dos tampos torisférico e elipsoidal, sob pressão interna.

Os símbolos ou variáveis definidos abaixo são usados nas fórmulas deste parágrafo.

E = eficiência de junta adequada para, cascos cilíndricos ou esféricos, ou eficiência de ligamentos entre aberturas, o que for menor.

- Para vasos soldados, use a eficiência especificada em ASME VIII 1 UW-12 e Table UW12..
- Para ligamentos entre aberturas, use a eficiência calculada pelas regras dadas em UG-53.

P = pressão interna de projeto.

R = raio interno do casco em consideração.

S = valor máximo de tensão de tração admissível.

t = espessura mínima requerida para o casco.

As fórmulas estão preparadas para uso das variáveis em unidades coerentes dos Sistema SI e Inglês.

- **Cascos cilíndricos sujeitos à pressão interna**

A espessura mínima ou a pressão de trabalho máxima permitida de cascos cilíndricos deve ser a maior espessura ou menor pressão como dado por (1) ou (2) abaixo.

(1) Tensão Circunferencial (Juntas Longitudinais).

Quando a espessura não excede a metade do raio interno, ou P não exceda 0,385SE, as seguintes fórmulas devem ser aplicadas:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad \text{or} \quad P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$$

(2) Tensão Longitudinal (Juntas Circunferenciais).

Quando a espessura não excede a metade do raio interno, ou P não exceda 1,25SE, as seguintes fórmulas devem ser aplicadas.:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{R - 0.4t}$$

- **Cascos esféricos sujeitos à pressão interna**

Quando a espessura do casco de um vaso totalmente esférico não excede 0,356R, ou P não excede 0,665SE, as seguintes fórmulas devem ser aplicadas:

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$$

Nota:

Nos cascos esféricos as tensões circunferencial e longitudinal têm o mesmo valor calculado.

## **19.2. Cálculo de espessura de tampos abaulados sujeitos à pressão interna**

### **UG-32 FORMED HEADS, AND SECTIONS, PRESSURE ON CONCAVE SIDE**

A espessura mínima requerida na seção mais fina após a conformação de tampos elipsoidais, torisféricos, hemisféricos, cônicos e toricônicos, sob pressão no lado côncavo (pressão interna), deve ser calculada pelas fórmulas a seguir listadas.

Para os tampos com flanges de aparafusamento atender também aos requisitos de ASME VIII 1 UG-35.

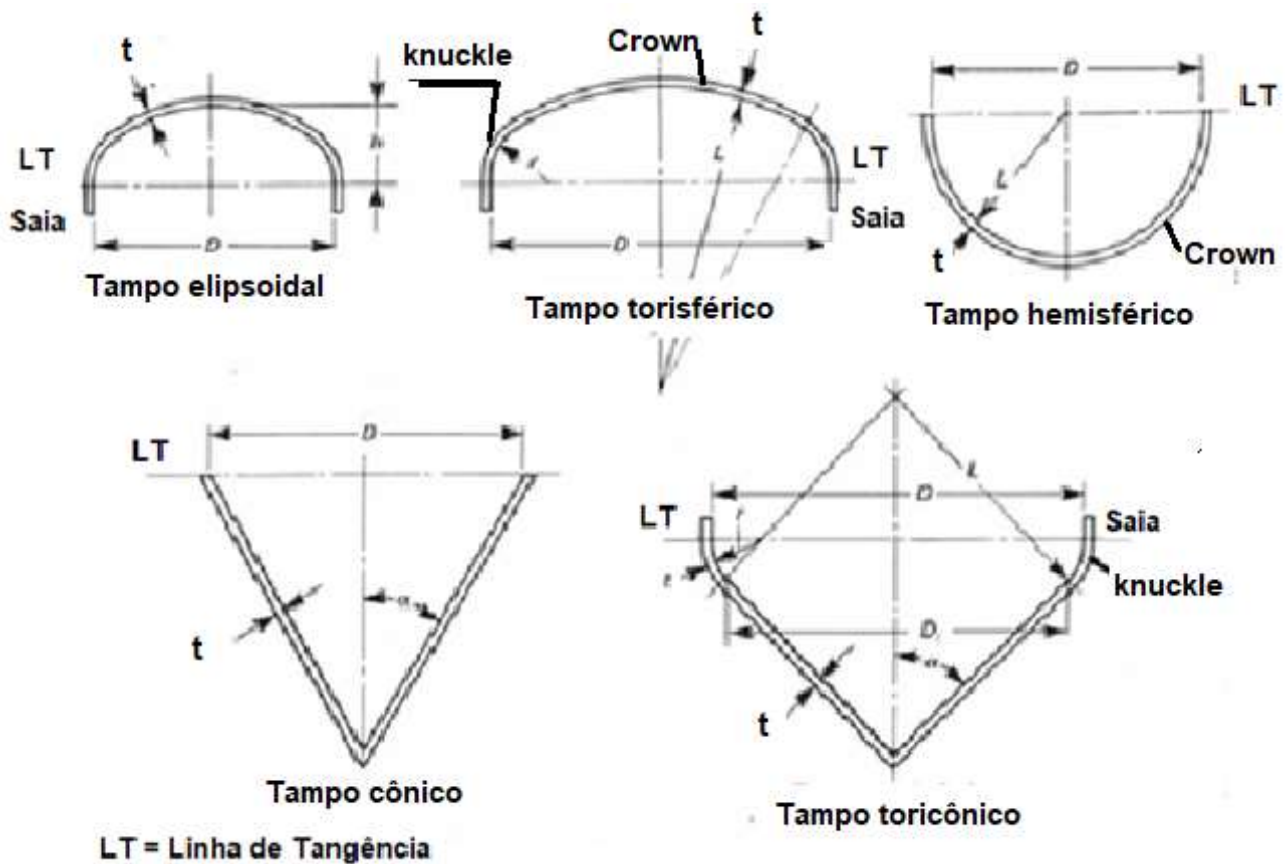
A espessura final ou nominal para os tampos deve considerar as cargas listadas no ASME VIII 1 UG-22 e não pode ser inferior à determinada pelas fórmulas indicadas, exceto quando permitido pelo Apêndice 32 *Appendix 32. Mandatory Appendix 32 Local Thin Areas in Cylindrical Shells and In Spherical Segments of Shells.*

A espessura final de parede também deve levar em conta as tolerâncias de fabricação de chapas, a sobresspessura de corrosão e/ou erosão e o possível desgaste devido às operações de limpeza.

Para tampos abaulados e outras peças prensadas ou conformadas, deve ser previsto também um adequado acréscimo na espessura das chapas, para compensar a perda de espessura na

prensagem ou na conformação, de forma que a espessura final da peça acabada tenha, no mínimo, o valor nominal que consta nos desenhos de fabricação.

A espessura nominal da parte cilíndrica (saia do tampo) de tampos elipsoidal e torisférico não deve ser inferior à espessura nominal do casco ao qual o tampo está ligado.



### Principais dimensões de tampos típicos

#### Nota::

O comprimento mínimo da saia deve ser 3 vezes a espessura “t” do tampo, mas não precisa exceder a 38 mm (1 ½ pol), a não ser quando é necessário um ajuste de espessuras entre o tampo e o casco cilíndrico.

Os símbolos definidos abaixo são usados nas fórmulas deste parágrafo:

P = pressão interna de projeto

S = valor máximo de tensão de tração admissível

E = menor eficiência especificada em ASME VIII 1 UW-12 de qualquer junta soldada Categoria A no tampo (para tampos hemisféricos isso inclui junta tampo x casco)

D = diâmetro interno da saia do tampo; ou comprimento interno do eixo principal de um tampo elipsoidal; ou diâmetro interno de um tampo cônico no ponto considerado perpendicularmente ao eixo longitudinal

$D_i$  = diâmetro interno da parte cônica de um tampo toricônico em seu ponto de tangência ao *knuckle*, medido perpendicularmente ao eixo do cone.

$$D_i = D - 2r(1 - \cos \alpha)$$

t = espessura mínima necessária do tampo, após a conformação

$t_s$  = espessura mínima medida no tampo após a fabricação,  $t_s$  deve ser  $\geq t$

h = metade do comprimento interno do eixo menor do tampo elipsoidal, ou a profundidade interna do tampo elipsoidal exceto a saia

$D/2h$  = razão do eixo maior para o eixo menor de tampos elipsoidais, que é igual ao diâmetro interno da saia do tampo dividido pelo dobro da altura interna (exceto a saia) do tampo

r = raio interno do *knuckle*

K = fator para tampos elipsoidais dependendo da proporção  $D/2h$  do tampo (Tabela ASME VIII 1 Table 1-4.1)

L = raio interno esférico ou raio interno da coroa *crown* para tampos torisféricos e hemisféricos.

O raio interno da coroa não deve ser maior que o diâmetro externo da saia do tampo..

Para tampos elipsoidais L = K1 D em que K1 é obtido da Tabela UG-37

M = fator para tampos torisféricos dependendo da proporção L/r do tampo (Tabela ASME VIII 1 Table 1-4.2)

$\alpha$  = metade do ângulo do vértice (ápice) do cone na linha central do tampo cônico

As fórmulas estão preparadas para uso das variáveis em unidades coerentes dos Sistema SI e Inglês.

TABLE 1-4.1  
VALUES OF FACTOR K

D/2h	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
K	1.83	1.73	1.64	1.55	1.46	1.37	1.29	1.21	1.14	1.07	1.00
D/2h	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	...
K	0.93	0.87	0.81	0.76	0.71	0.66	0.61	0.57	0.53	0.50	...

Interpolação dispensável usar o valor mais próximo

TABLE UG-37  
VALUES OF SPHERICAL RADIUS FACTOR K<sub>1</sub>

D/2h	...	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2
K <sub>1</sub>	...	1.36	1.27	1.18	1.08	0.99
D/2h	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
K <sub>1</sub>	0.90	0.81	0.73	0.65	0.57	0.50

Interpolação permitida para valores intermediários

TABLE 1-4.2  
VALUES OF FACTOR M

L/r	1.0	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22
L/r	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
M	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50
L/r	9.5	10.00	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16 <sup>2/3</sup>
M	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77

Interpolação dispensável usar o valor mais próximo

Nota: Relação máxima permitida quando L é igual ao diâmetro externo da saia do tampo

• **Tampos elipsoidais ou elípticos com  $ts/L \geq 0,002$  UG-32 (d) Ellipsoidal Heads**

A espessura mínima requerida de um tampo de forma elipsoidal ou elíptica 2:1, isto é, em que h é igual a D/4 ( $h=D/4$  ou  $D/2h=2$ ), deve ser determinada pela fórmula:

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}$$

De preferência tampos elipsoidais devem ter a relação entre os eixos de 2:1.

Para outras relações entre h e D usar a fórmula:

$$t = \frac{PDK}{2SE - 0.2P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{KD + 0.2t}$$

Em que K é obtido da tabela ASME VIII 1 Table 1-4.1:



Nota:

Para projeto de tampos elipsoidais com  $ts/t < 0,002$ , a espessura mínima requerida com  $0,0005 \leq ts/L < 0,002$  deve ser maior entre as espessuras calculadas pelas fórmulas em ASME VIII 1 UG-32(d), 1-4(c), ou pelas fórmulas em ASME VIII 1 1-4 (f)(1).

Ao usar as fórmulas ASME VIII 1 1-4(f)(1), o valor de L deve ser obtido da Tabela ASME VIII 1 UG-37 e o valor de r deve ser obtido da Tabela ASME VIII 1 1-4.4

- **Tampos torisféricos com  $ts/L \geq 0,002$  UG-32 (e) Torispherical Heads**

A espessura requerida de um tampo torisférico para o caso em que o raio interno do *knuckle* é 6% do raio interno da coroa *crown* e o raio interno da coroa *crown* é igual ao diâmetro externo da saia deve ser determinado pela seguinte fórmula.

$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} \quad \text{or} \quad P = \frac{SEt}{0.885L + 0.1t}$$

A espessura de tampos torisféricos, conhecidos como falsa elipse, pode ser calculados com aproximação aceitável, pela fórmula de tampo elipsoidal 2:1.

Nota:

Tampo torisférico conhecido como falsa elipse é o que tem a seção toroidal *knuckle*, com raio interno igual a 0,173 D, e a calota central esférica, com raio interno igual a 0,904 D, sendo D o diâmetro interno da saia do tampo .

Notas::

- Para tampos torisféricos com  $ts/L < 0,002$ , as regras de ASME VIII 1 1-4(f) também devem ser atendidas.
- Os tampos torisféricos fabricados de materiais com uma resistência à tração mínima superior a 70.000 psi (500 MPa) devem ser projetados, usando-se um valor de **S** igual a 20.000 psi (150 MPa) à temperatura ambiente, e para temperaturas maiores, reduzindo-se em proporção equivalente à redução dos valores de tensão máxima permitida para o material (ver ASME VIII 1 UG-23).
- O raio interno do *knuckle* de um tampo torisférico não deve ser inferior a 6% do diâmetro externo da saia do tampo, mas em nenhum caso inferior a 3 vezes a espessura do tampo.

- **Tampos hemisféricos UG-32 (f) Hemispherical Heads**

Quando a espessura de um tampo hemisférico não exceder 0,356L ou P não exceder 0,665SE, as seguintes fórmulas devem ser aplicadas:

$$t = \frac{PL}{2SE - 0.2P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{L + 0.2t}$$

- **Tampos cônicos e seções cônicas sem *knuckle* UG-32 (g) Conical Heads and Sections (Without Transition Knuckle)**

A espessura necessária de tampos cônicos ou de seções cônicas do corpo do vaso de pressão, sem *knuckle*, que têm meio ângulo de vértice  $\alpha$  não maior de 30 graus deve ser determinado por

$$t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt \cos \alpha}{D + 1.2t \cos \alpha}$$

A necessidade de um anel de reforço deve ser verificada pela regra em ASME VIII 1 1-5(d) e (e). Tampos ou seções cônicas com meio ângulo de vértice  $\alpha$  superior a 30 graus, sem *knuckle*, deve estar em conformidade com a fórmula acima e ASME VIII 1 1-5(g).

- **Tampos toricônicos e seções cônicas com *knuckle* UG-32 (h) Toriconical Heads and Sections**

A espessura requerida para porção cônica de um tampo toricônico ou seção cônica do corpo do vaso de pressão, na qual o raio interno do *knuckle* não é inferior a 6% do diâmetro externo da saia do tampo, nem inferior a três vezes a espessura do próprio *knuckle*, deve ser determinada pela seguinte fórmula, usando Di no lugar de D.

$$t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt \cos \alpha}{D + 1.2t \cos \alpha}$$

$$D_i = D - 2r(1 - \cos \alpha)$$

A espessura necessária do *knuckle* deve ser determinada pela fórmula

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{LM + 0.2t}$$

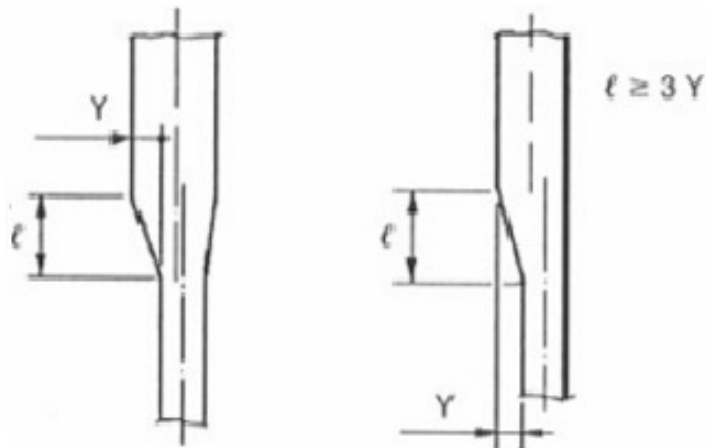
Em que:

$$L = \frac{D_i}{2 \cos \alpha}$$

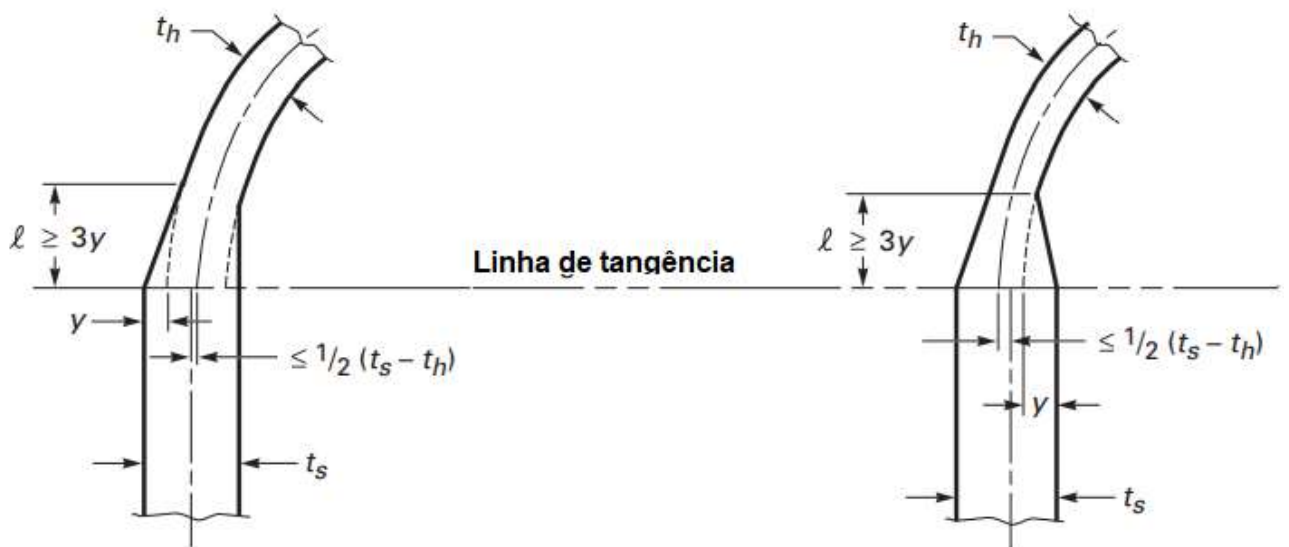
Tampas toricônicas ou seções cônicas do corpo do vaso de pressão podem ser usados para ângulo  $\alpha \leq 30$  graus e são obrigatórios para projetos de tampas quando o ângulo  $\alpha$  excede 30 graus.

## 20. Transição de espessuras na solda entre casco x tampo FIG. UW-13.1 Heads attached to Shells

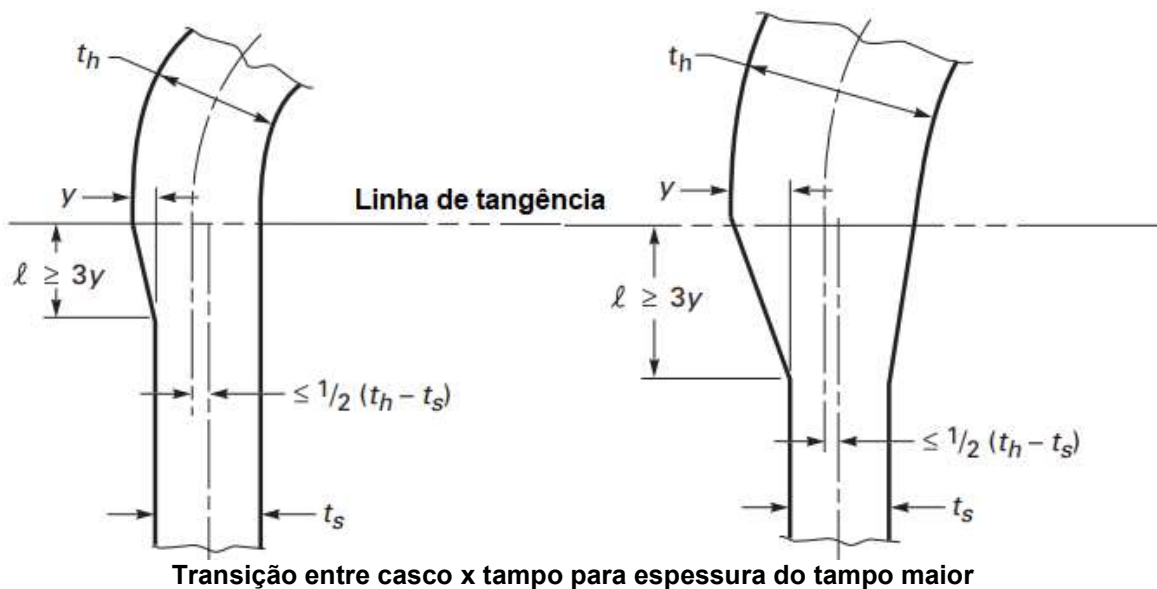
Em todas as ligações entre casco x casco e casco x tampo, de diferentes espessuras, com fixação por solda de topo, deve haver um comprimento, de transição cônica entre as espessuras, suficiente para adequar-se aos requisitos das figuras a seguir.



Transição entre cascos de diferentes espessuras



Transição entre casco x tampo para espessura do casco maior



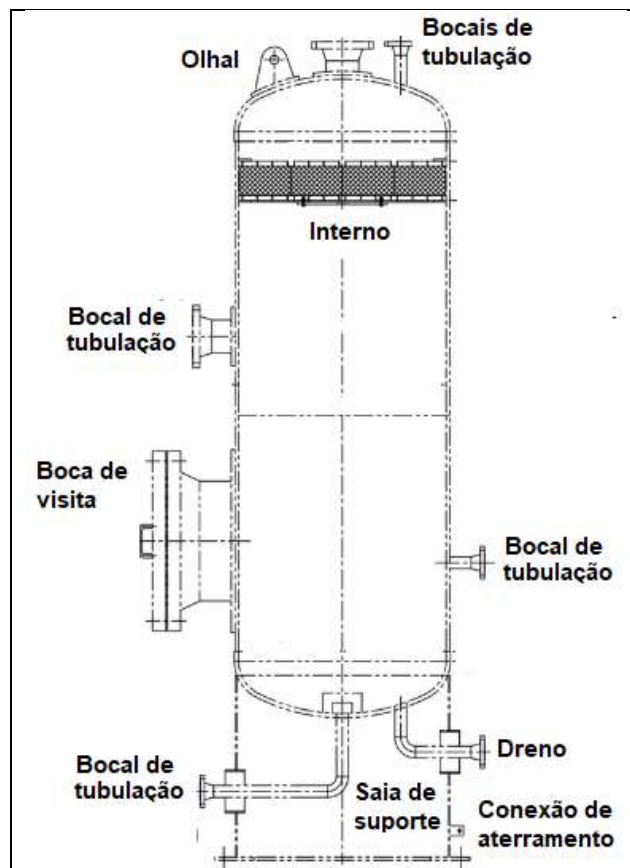
Em todos os casos, o comprimento da transição  $l$  não deve ser inferior a  $3y$ .

### 21. Bocais para conexão de tubulações e bocas de visita de vasos de pressão

Os flanges de bocais e de bocas de visita devem ser adequados para as condições de projeto e de teste do vaso, especificados pelo ASME B16.5 ou ASME B16.47 ou dimensionados pelo ASME Section VIII Division 1 Mandatory Appendix 2 Rules for Bolted Flange Connections with Ring Type Gaskets.

Todos os flanges devem ser instalados em posição, tal que, a vertical ou as linhas N-S e E-O do projeto passem pelo meio do intervalo entre 2 furos de parafusos ou estojos.

As ligações aparafusadas, de bocais considerados críticos, devem ter controle do torque aplicado, conforme Norma ASME PCC 1 Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly.



**Bocais de tubulação e boca de visita de vaso de pressão**

## 21.1 Bocais de tubulação

O diâmetro nominal mínimo dos bocais, para qualquer finalidade deve ser de 3/4".

Admitem-se excepcionalmente bocais luvas rosqueadas de 1/2", apenas para poços de termômetros ou outros instrumentos, desde sejam atendidas todas as seguintes condições:

- serviço com os seguintes fluidos: água, ar comprimido ou gases inertes;
- vaso sem requisitos de teste de impacto;
- vaso sem tratamento térmico.

Todos os bocais de 2" de diâmetro nominal ou maiores devem ser flangeados, exceto quando especificado para solda de topo na tubulação.

Os bocais para solda de topo devem ser evitados, porém, podem ser adotados para bocais de grande diâmetro ou para pressões elevadas.

Para bocais com diâmetro nominal inferior a 2", só é aceitável o uso de conexões tipo luvas rosqueadas, se atendidas todas as seguintes condições:

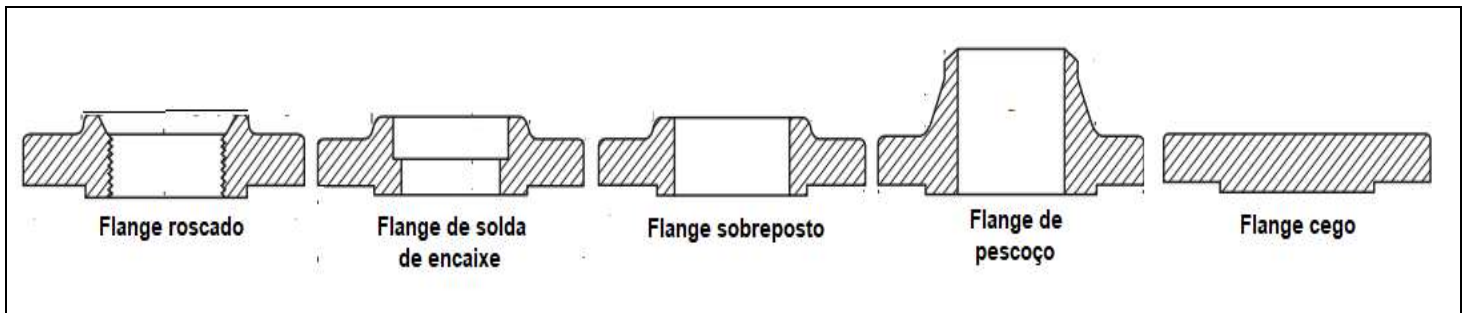
- serviço com os seguintes fluidos: água, ar comprimido ou gases inertes;
- vaso sem requisitos de teste de impacto;
- vaso sem tratamento térmico.

Bocais com diâmetros nominais de 1 1/4", 2 1/2", 3 1/2", 5" e 7" não devem ser empregados.

Os flanges de diâmetros nominais de 2" e acima, devem ser do tipo de pescoço WN-Welding Neck conforme ASME B16.5 ou ASME B16.47, de aço-forjado.

Os flanges de diâmetros nominais até NPS24 devem ser especificados conforme Norma ASME B16.5.

Os flanges que variam de NPS26 até NPS36 devem ser especificados de acordo com ASME B16.47 Tipo A. e os flanges maiores que NPS36 devem ser especificados usando ASME B16.47 Tipo B



**Tipos de flanges de bocais de tubulação**

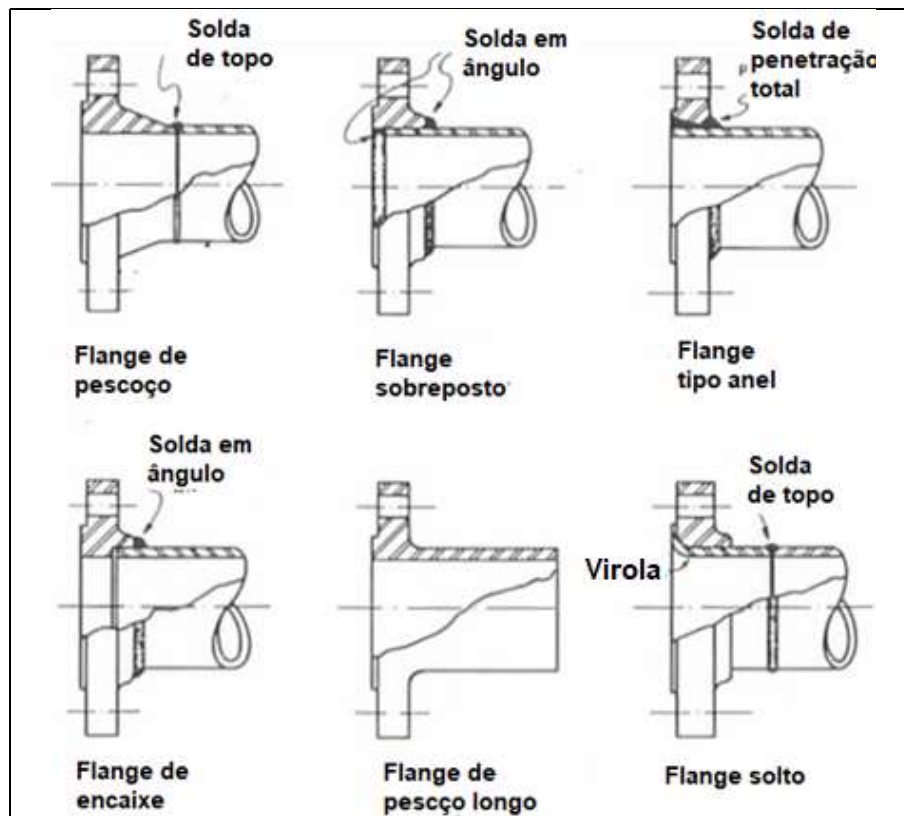
Os flanges de diâmetro nominal até 1 1/2", inclusive, podem ser de um dos seguintes tipos:

- flange de pescoço longo LWN - *Long Welding Neck*;
- flange de pescoço WN - *Welding Neck* com pescoço sch 160 ou XXS;
- flange sobreposto SO - *Slip-On* desde que sejam atendidas todas as seguintes condições:
  - serviço com os seguintes fluidos: água não contaminada por substâncias tóxicas, ar comprimido ou gases inertes;
  - classe de pressão 150;
  - temperatura de projeto até 300<sup>a</sup>;
  - vaso sem requisitos de tenacidade e teste de impacto;
  - bocal com sobresspessura para corrosão de até 3 mm (quando a solda estiver em contato com o fluido);
  - vaso sem tratamento térmico.

A utilização de flange do tipo sobreposto em bocal, com diâmetro nominal de 2" e acima, só é aceitável se atendidas todas as seguintes condições:

- classe de pressão 150;
- temperatura de projeto até 300<sup>a</sup>C;
- vaso sem requisitos de tenacidade e teste de impacto;

- d) bocal com sobresspessura de corrosão até 3 mm (quando a solda estiver em contato com o fluido);
- e) vaso sem necessidade de tratamento térmico.



**Montagem de flanges de bocais de tubulações**

Os pescoços de bocais, quando construídos de tubos em aço-Carbono ou baixa liga, devem ter as seguintes espessuras mínimas:

- a) diâmetro até 2": série 80;
- b) diâmetro de 3" a 10": série 40.

A projeção externa dos bocais e bocas de visita deve ser a mínima possível, porém suficiente para:

- a) proporcionar uma distância adequada entre a solda no flange e a solda no casco;
- b) permitir a desmontagem dos estojos do flange sem danificar o isolamento térmico;
- c) evitar que os estojos ou as porcas fiquem embutidos no isolamento térmico do vaso;
- d) permitir acesso para soldagem do pescoço do bocal ao casco.

Em bocais com diâmetro nominal menor ou igual a 2" podem ser usadas luvas de aço forjado, desde que também seja permitido para o tipo de serviço do vaso.

As luvas devem ser no mínimo de classe de pressão 6 000 para solda de encaixe, exceto para instrumentos, em que se admitem luvas rosqueadas, desde que sejam atendidas todas as seguintes condições:

- a) serviço com os seguintes fluidos: água, ar comprimido ou gases inertes;
- b) vaso sem requisitos de teste de impacto;
- c) vaso sem tratamento térmico.

O comprimento das luvas deve ser superior a espessura do vaso, sendo as demais dimensões conforme Norma ASME B 16.11, de forma a evitar interferência entre a solda do soquete e a solda do corpo.

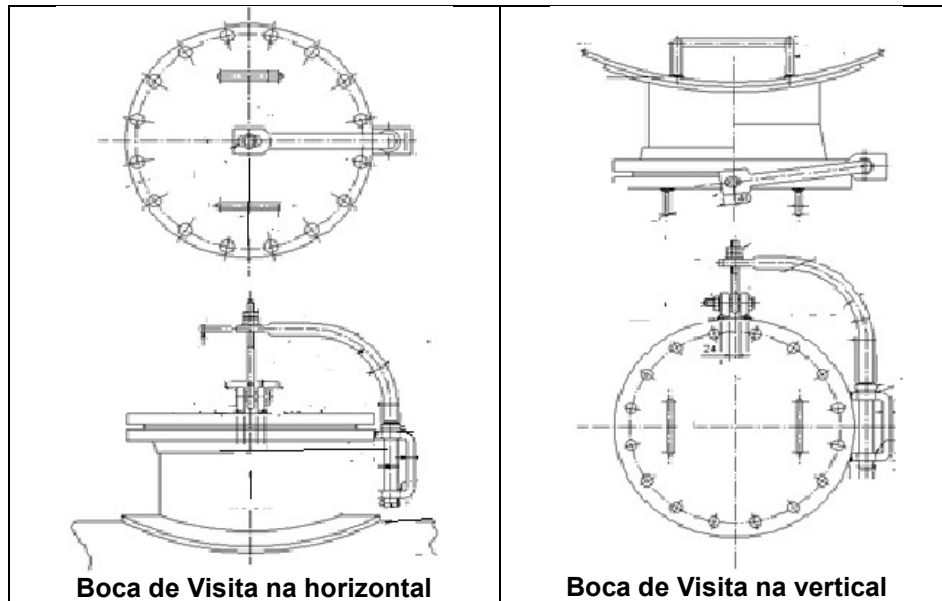
As luvas internas não sujeitas à pressão e não soldadas, à parede pressurizada, não precisam atender às condições acima e podem ser rosqueadas de classe de pressão 3 000.

## **21.2 Bocas de visita e de Inspeção em vasos de pressão**

A configuração da boca de visita é similar à de um bocal, exceto que não é conectada à uma tubulação, e possui uma tampa, normalmente, flange cego, que é aparafusada ao flange do bocal.

Quando aberta deve permitir o acesso, entrada e saída, ao interior do vaso, com diâmetro mínimo de 18 pol, podendo ser de 24 a 36 pol, quando há internos desmontáveis, como bandejas e recheios, no interior do vaso ou torre.

As bocas de visita devem ter dobradiças ou turcos ligados à tampa, para sustentação durante abertura ou fechamento, e permitir que a tampa gire. .



Os vasos de pressão devem ter no mínimo a quantidade de bocas de visita ou de inspeção em cada compartimento pressurizado, conforme a tabela a seguir. .

Diâmetro interno do vaso (mm)	Vasos com internos	Vasos sem internos
$DI \leq 10''$	Tampo superior flangeado.	2 bocais de inspeção de 2".
$10'' < DI \leq 815 \text{ mm}$	Tampo superior flangeado (ver Nota).	2 bocais de inspeção de 4".
$DI > 815 \text{ mm}$	Boca(s) de visita.	Boca(s) de visita.
<b>NOTA</b> Deve ser verificada a conveniência de uso de transição cônica no casco para diminuir o diâmetro do tampo flangeado, bem como a conveniência do uso de tampo abaulado em substituição ao flange cego.		

**Nota:**

Para vasos de diâmetro interno  $\leq 815 \text{ mm}$ , em que que o acesso ao interior não é possível, deve ser instalada bocal para inspeção interna, denominada boca de inspeção.

.O diâmetro nominal mínimo de bocas de visita deve ser conforme a tabela a seguir.

Diâmetro Interno do Vaso (DI) [mm]	Vasos com ou sem internos
$815 \leq DI \leq 1\ 015$	18"
$1\ 015 < DI \leq 1\ 220$	20"
$DI > 1\ 220$	24" a 36" (1)

**(1) A depender do porte do vaso e quantidade de internos**

Todas as bocas de visita com a tampa no plano horizontal, abrindo para cima, devem ter um turco para a remoção da tampa.

As bocas de visita com a tampa no plano horizontal, abrindo para baixo, devem ser evitadas sempre que possível; quando forem inevitáveis, deve ser previsto um dispositivo seguro para a remoção e manobra da tampa.

As bocas de visita com tampa no plano vertical, de classe de pressão até 150, com diâmetro até 24", inclusive, podem ter turco ou dobradiças para abertura da tampa; para classes de pressão mais altas, ou maior diâmetro, é obrigatório que haja um turco, não sendo permitidas com tampas dobradiças.

Para as bocas de visita com tampa no plano vertical devem ser sempre colocados degraus e punho de segurança para acesso ao lado interno do vaso, exceto quando existirem peças internas no vaso que impossibilitem ou tornem desnecessários esses degraus.

No caso dos vasos horizontais, uma das bocas de visita, quando não há impossibilidade técnica, deve estar situada em um dos tampos.

**Nota:**

Em vasos horizontais com gases pressurizados, devem ser evitadas as bocas de visita nos tampos, pois, em caso de acidente com explosão, elas são arremessadas à distância.

Os vasos horizontais com mais de 10 m de comprimento devem ter 2 bocas de visita.

A segunda boca de visita, quando existente, deve ficar na parte superior do casco, próximo à extremidade oposta.

## **22. Juntas de vedação de bocais e bocas de visita**

As juntas, o acabamento da face dos flanges, os estojos e as porcas de flanges de bocais devem estar em acordo com as especificações *spec* aplicáveis das tubulação a eles conectados.

Flanges de bocas de visitas e outros flanges de bocais não conectados a tubulação, bem como bocais de instrumentação, devem também seguir a especificação *spec* de tubulação aplicável à região, onde os mesmos estão instalados no vaso.

As juntas utilizadas em bocais e bocas de visita de vasos de pressão são, normalmente, dos seguintes tipos, dependendo do produto e condições de pressão e temperatura:

- Juntas de Papelão Hidráulico em Fibra Aramida conforme Norma ASME B16.21 de 1/2" @ 12" -1,6 mm esp. ou 3,2 mm espessura;
- Junta semimetálica, espiralada ou espiro metálica, espiras de aço inoxidável AISI 304, dureza superficial de 160HB max, com enchimento de grafite flexível, anel externo de centralização em aço Carbono, conforme Norma ASME B16.20 de 1/2" @ 42" - 4,4mm de espessura;
- Anel oval RTJ-*Ring Type Joint* de aço Carbono, dureza superficial de 90 HB máx, conforme Norma ASME B16.20 de 1/2" @ 24";
- Anel oval RTJ-*Ring Type Joint* de aço inoxidável ASTM A 182 GR F11, dureza superficial de 130HB máx conforme Norma ASME B16.20 de 1/2" @ 16".

As faces dos flanges que trabalham com junta de vedação tipo anel RTJ-*Ring Type Joint* devem ter dureza 30 "Brinell" superior à do material da junta, conforme a especificação *spec* de tubulação aplicável.

Quando a face dos flanges dos bocais for do tipo lingueta e ranhura ("tongue and groove"), a ranhura deve ficar no flange do bocal, exceto quando a face do flange do bocal for voltada para baixo, caso em que a lingueta deve ficar no flange do bocal.

O acabamento da face do flange depende do tipo de junta de vedação empregada e deve ser conforme a tabela a seguir.

Flanges			Acabamento da face de flange			Junta de vedação	
Classes de pressão	Tipos de faces de flanges	Norma	Acabamento	Ranhura	Norma	Tipo	Norma
125 e 250	FP-Face Plana ("Flat Face")	ASME B16.5 DN≤24"	250 a 500 RMS	Concêntrica ou fonográfica	ASME B16.5 MSS SP-6	Papelão hidráulico	ASME B16.21
150 a 300	FR-Face com Ressalto ("Raised Face")	ASME B16.5 DN≤24"	250 a 500 RMS	Concêntrica ou fonográfica	ASME B16.5 MSS SP-6	Papelão hidráulico	ASME B16.21
150 a 600			125 a 250 RMS	Concêntrica ou fonográfica	ASME B16.5 MSS SP-6	Espiralada de aço inoxidável com enchimento de grafite flexível	ASME B16.20
900 a 2500	M & T-Face "Male & Tongue" RTJ-Face "Ring Type Joint"		32 a 62 RMS	---	ASME B16.5	Metálica de anel plano ou RTJ	ASME B16.20
150, 300, 600	FR-Face com Ressalto	ASME B16.47 DN>24" até 60" Tipo A Tipo B	125 a 250 RMS	Concêntrica ou fonográfica	ASME B16.5 MSS SP-6	Espiralada de aço inoxidável com enchimento de grafite flexível	ASME B16.20
600, 900	RTJ-Face "Ring Type Joint"		32 a 62 RMS	---	ASME B16.5	Metálica de anel plano ou RTJ	ASME B16.20

### Correlação entre flanges x acabamento da face x junta de vedação

#### 23. Tipos de reforços da abertura na região de fixação de bocais e bocas de visita

Os reforços dos bocais e das bocas de visita, quando requeridos pelo ASME, devem ser conforme as figuras a seguir ou por combinação delas.

- **Figura 1:**

Anel de chapa soldado ao pescoço tubular e à parede do vaso .

Esse sistema é permitido para qualquer diâmetro, mas não deve ser usado quando a espessura da parede do vaso é igual ou superior a 50 mm.

Não é empregado para serviços em baixa temperatura, esferas e cilindros para armazenamento de gás liquefeito sob pressão, serviços cíclicos, nem serviços especiais como H<sub>2</sub>S ou H<sub>2</sub>.

Os reforços em anel de chapa devem obrigatoriamente ter um furo de Ø 6 mm de diâmetro, com rosca NPT, para respiro e para teste da solda. Para bocais de 10", ou maiores, deve haver 2 furos de Ø 6 mm diametralmente opostos. Não deve ser colocado bujão nesses furos, devendo os furos serem deixados abertos e serem preenchidos com graxa.

- **Figura 2:**

Disco de chapa de maior espessura ("*insert plate*"), soldado de topo no vaso.

Esse sistema é permitido para qualquer diâmetro e pode ser usado nos casos em que o reforço por anel de chapa não é permitido ou não é recomendado.

- **Figuras 3, 4 e 5:**

Peça forjada integral

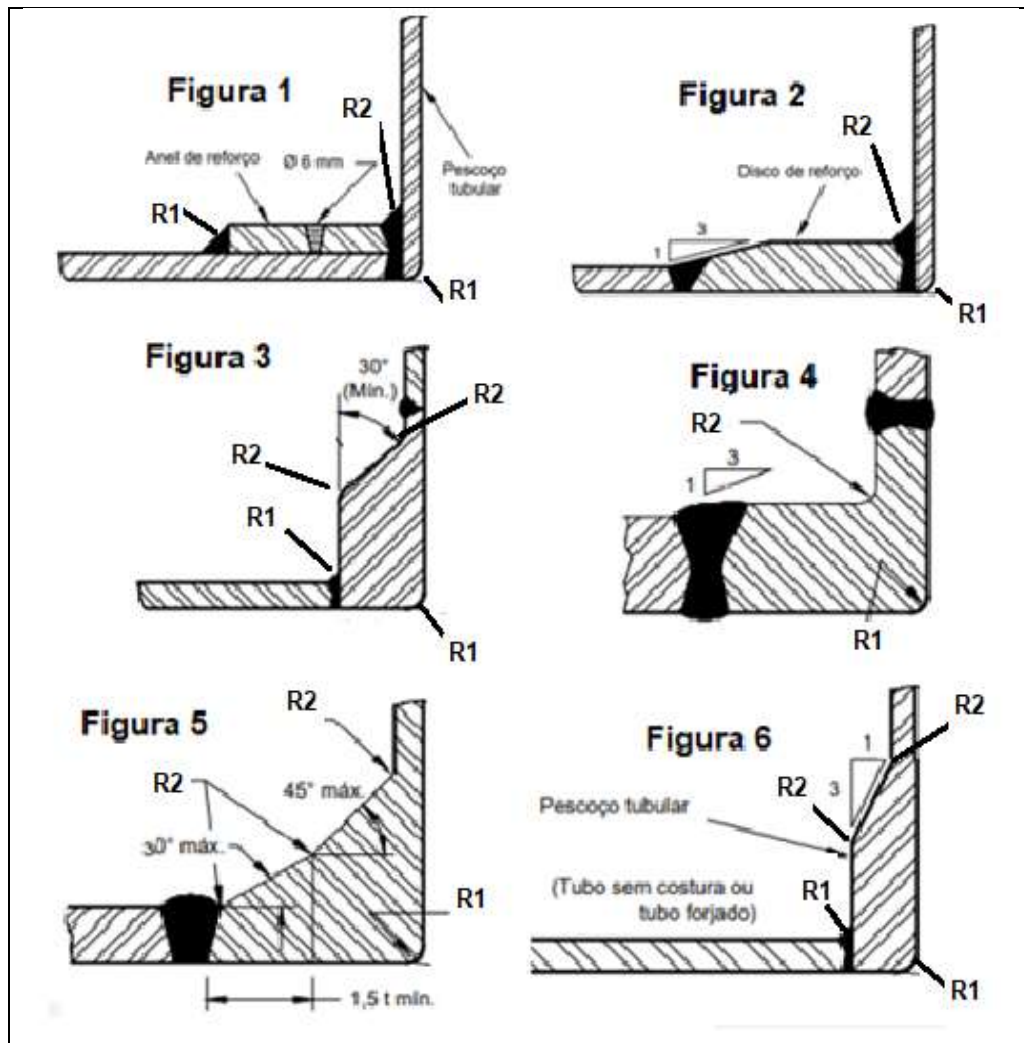
Esse sistema é permitido para qualquer diâmetro e serviço do vaso, sem limitações.

- **Figura 6:**

Pescoço tubular de maior espessura

Esse sistema é permitido, sem limitações, para diâmetros nominais até 10", inclusive, devendo o pescoço tubular ser de tubo sem costura ou de tubo forjado, preferido para esses casos..





**Tipos de reforços da abertura para bocais e bocas de visita**

Os cantos interno e externo de todos os pescoços dos bocais devem ter raio de acabamento.

Nota:

$R1 \geq \min[0.25t, 3 \text{ mm } (0.125 \text{ in})]$	$t =$ espessura do casco cilíndrico
$R2 \geq \min[0.25t_n, 19 \text{ mm } (0.75 \text{ in})]$	$t_n =$ espessura do pescoço do bocal

#### 24. Requisitos para execução de soldas

As soldas devem ser executadas com a aprovação e certificação prévia dos seguintes documentos, que são parte integrante do processo de qualificação de processo de soldagem::

- Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS);
- Registro de Qualificação de Soldador (RQS)
- Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS);
- Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem (IEIS)

Estes documentos devem se baseados no Código ASME IX Welding and Brazing Qualifications.

As soldas, longitudinais e circunferenciais, de casco e tampos, devem ser soldas com penetração total e facilmente radiografáveis.

A ligação do pescoço do bocal e da boca de vista ao casco ou tampo do vaso deve ser por solda de penetração total.

Quando for utilizada chapa de reforço, a solda desta ao casco ou tampo e ao pescoço do bocal ou da boca de visita, também deve ser com solda de penetração total.

As soldas da chapa "insert plate" e dos reforços forjados integrais devem ter solda de penetração total ao casco ou tampo..

A ligação de bocal tipo luva com a parede do vaso deve ser por solda de penetração total.

Em vasos com diâmetro menor que 2 000 mm, se admite uma única solda longitudinal por anel do casco.

Para diâmetros iguais ou superiores a 2 000 mm devem ser usadas chapas de comprimento comercial, só sendo admitidas chapas menores para acerto.

Em ambos os casos deve haver uma defasagem mínima de 45° entre soldas longitudinais de anéis adjacentes.

As soldas do casco e dos tampos devem ser dispostas de tal forma que não interfiram com: os suportes do vaso; com suportes de tubulação; com as peças internas e externas soldadas ao vaso; com os bocais; com as bocas de visita e nem com respectivos reforços de bocais e bocas de visitas. Por exceção, quando ocorrerem soldas do casco ou tampo ocultas por chapas de reforço, suportes de tubulação e peças internas e externas soldadas ao vaso, elas devem ser esmerilhadas, examinadas por partículas magnéticas ou líquido penetrante e totalmente radiografadas.

São proibidas soldas longitudinais na geratriz inferior do casco do vaso horizontal.

Todas as soldas do corpo, casco ou tampo, devem estar em tal posição que seja possível a sua inspeção sem haver necessidade de desmontagem de peças internas ou externas do vaso.

As soldas de olhais e outros dispositivos de içamento devem estar afastadas das soldas principais.

:

A distância entre as bordas de 2 soldas não deve ser menor que 3 vezes a espessura da chapa mais fina, com o mínimo de 50 mm.

Usar soldas de penetração total no corpo e nos bocais, executando o adoçamento suave das soldas de filete.

Executar soldas de topo com penetração total, evitando penetração excessiva ou falta de penetração, e nenhum rebaixo de solda é permitido.

Garantir um cordão da raiz de solda sólido e suave, para soldas no corpo do vaso..

Não usar barras mata juntas *backing strips* nas soldas.

Quando requerido o tratamento térmico após a soldagem PWHT *Post Welding Heat Treatment* deve ser realizado, conforme o código, para todas as espessuras e materiais.

Os testes de produção das soldas, inclusive o teste de impacto, devem ser realizados nos materiais, do corpo, dos bocais e bocas de visita, com o mesmo tratamento térmico do vaso de pressão;

## **25. Requisitos para inspeção de soldas**

### **25.1. Níveis de inspeção**

A inspeção de fabricação das soldas deve atender ao indicado no projeto mecânico.

Porém, no projeto mecânico é especificado apenas o nível de inspeção radiográfica: RT total ou RT parcial.

O projeto mecânico dos vasos de pressão especifica um determinado nível de inspeção de fabricação, definido na folha de dados do equipamento, expresso pelo exame radiográfico requerido na fabricação.

Em função da extensão da radiografia, parcial ou total, a ser aplicada no vaso, o código de projeto e construção define a eficiência estrutural das juntas soldadas de topo, que limita o valor das tensões máximas admissíveis, a considerar no dimensionamento das partes pressurizadas do equipamento.

No entanto, a radiografia não é a única inspeção, a ser realizada no vaso, que vai garantir a qualidade da fabricação, pois nem todas as soldas das partes sob pressão são radiografáveis.

Assim, na realidade, a extensão do exame radiográfico, definido no projeto, determina um sistema de inspeção aplicável à matéria-prima e às etapas de fabricação, que são os ENDS-Ensaio ou Exames Não Destrutivos.

O projeto de fabricação deve relacionar os ENDS a serem executados no fornecimento dos materiais de construção e durante as seguintes etapas da fabricação:

- a. Materiais de fabricação: chapas, tubos, forjados, consumíveis de soldagem;

- b. Componentes pré-fabricados adquiridos de terceiros: tampos, flanges, tubos e acessórios de tubulação, válvulas, parafusos e porcas, barras e perfis;
- c. Operações de fabricação do tipo usinagem, prensagem, calandragem, dobramento e rebordeamento;
- d. Ligações soldadas, aparafusadas, roscadas e mandriladas, executadas durante a fabricação e montagem do vaso de pressão.

#### Ensaio e testes aplicáveis à matéria prima de fabricação do vaso de pressão

Matéria prima	Tipo de ensaio ou teste	Norma ASME Sec II Part A aplicável
Chapas	Propriedades mecânicas Ultra-som	SA-20 SA-435
Chapas "cladeadas"	Propriedades mecânicas Ultra-som	SA-20 SA-578
Tubos de troca térmica	"Eddy current" Campo remoto IRIS	Material não metálico Material metálico
Flanges e peças forjadas	Ultra-som	SA-388
Consumíveis de soldagem	Análise composição química Propriedades mecânicas	AWS

#### Notas:

- a. Para toda matéria prima devem ser apresentados os certificados de qualidade, emitidos pela Usina Siderúrgica, contendo, no mínimo, análise química, propriedades mecânicas e tenacidade.
- b. Na fábrica toda a matéria prima fornecida deve ser submetida ao teste de identificação do material *PMI-Positive Identification Test*, antes do início da fabricação.

O requisito mínimo para a inspeção das soldas pressurizadas do corpo (casco e tampos) de vasos de pressão é a radiografia parcial ou por pontos (Spot X ray), porém, na medida que o serviço do equipamento na planta de processo é especial ou crítico, os requisitos de controle da qualidade da fabricação se tornam mais rigorosos e complexos.

Assim, considerando o tipo de inspeção radiográfica, parcial ou total, prescrito para as soldas de topo do corpo do vaso de pressão, é estabelecido um conjunto de ENDS e testes que se aplicam a todas as fases da fabricação e montagem do equipamento.

#### ENDS Ensaios Não Destrutivos comumente utilizados no controle da qualidade de fabricação de vasos de pressão

Sigla	Descrição	Execução	Aceitação
RT	Exame radiográfico a- Total ou "full X-ray" b- Parcial ou "spot X-ray"	ASME Sec V	a- ASME VIII Div 1 UW-51 b- ASME VIII Div 1 UW-52
UT	Exame por ultra-som(1)	ASME Sec V	ASME VIII Div 1 App. 12
PM	Exame por partículas magnéticas	ASME Sec V	ASME VIII Div 1 App. 6
LP	Exame por líquido penetrante(2)	ASME Sec V	ASME VIII Div 1 App. 8
VI	Exame visual	ASME Sec V	Isento de defeitos
ME	Medição de espessura	PF	Critério próprio
EE	Exame de Estanqueidade	PF	Critério próprio
MD	Medição de dureza	PF	Critério próprio

#### Notas:

- (1) Não aplicável para espessuras menores que 13 mm
- (2) Teor máximo de Cloretos 10 ppm na solução
- (3) PF: conforme procedimento próprio do fabricante

### **25.2. Requisitos aplicáveis aos vasos de pressão com inspeção por radiografia parcial**

Além da radiografia parcial ou por pontos das soldas de topo do corpo (casco e tampos) do vaso de pressão, devem ser executados:

- a. Inspeção visual e dimensional dos chanfros para solda nas chapas e componentes;
- b. Exame de ultrassom nas chapas, na região dos chanfros, para detectar dupla laminação;
- c. Exame por líquido penetrante em 100% das soldas de raiz, após goivagem, sempre que possível de ambos os lados, interno e externo;
- d. Executar a radiografia parcial de todas as soldas de topo, radiografando também os cruzamentos de soldas circunferenciais e longitudinais (150 mm de cada lado do cruzamento), as extremidades de soldas e os locais de acesso difícil para inspeção em operação;
- e. Fazer radiografia total em soldas que ficarem sob chapas de reforço ou orelhas (clips) soldadas ao vaso;
- f. Fazer exame de partículas magnéticas ou líquido penetrante nas seguintes regiões:
  - Em todas as soldas não radiografáveis, em toda a extensão, para os vasos construídos de aço Carbono; aços liga Cr-Mo; aços inoxidáveis; metais e ligas de não ferrosos;
  - Nos locais de soldas provisórias, após a remoção, de dispositivos auxiliares de montagem e de fixação de termopares para a execução do TTAT-Tratamento Térmico de Alívio de Tensões;
  - Nas soldas de anéis de reforço e de olhais de içamento ao corpo de equipamento;
  - Em todas as soldas de acessórios internos e externos com o corpo;
  - Nas soldas de fixação dos suportes do equipamento e nas soldas de chapas de reforço em locais de suportes de tubulação e de plataformas;
  - Na superfície externa da região conformada das partes e componentes fabricados por rebordamento e/ou prensagem;
- g. Executar exames com ultrassom e partículas magnéticas ou líquido penetrante, nesta sequência, em soldas de topo de fechamento do vaso e em soldas de topo de difícil acesso para a radiografia;
- h. Verificar a espessura mínima dos tampos rebordados e partes ou componentes prensados e, quando aplicável, a espessura da chapa de clad ou de lining;
- i. Inspeção dos bocais e demais aberturas no corpo conforme item 25.5 Inspeção de Bocais e Bocas de visita, deste procedimento.

### **25.3. Requisitos aplicáveis aos vasos de pressão com inspeção por radiografia total**

Além da radiografia total das soldas de topo do corpo (casco e tampos) do vaso de pressão, devem ser executados:

- a. Inspeção visual e dimensional dos chanfros de soldas de chapas e componentes.
- b. Inspeção com líquido penetrantes da superfície dos chanfros.
- c. Exame de ultrassom nas chapas, na região dos chanfros, para detectar dupla laminação;
- d. Exame por líquido penetrante em 100% do passe de raiz, após goivagem, sempre que possível de ambos os lados, interno e externo
- e. Executar a radiografia total de todas as soldas de topo, radiografando também os cruzamentos de soldas circunferenciais e longitudinais, as extremidades de soldas e os locais de acesso difícil para inspeção em operação.
- f. Exame de ultrassom e exames de partículas magnéticas ou líquido penetrante, nesta sequência, nas seguintes regiões:
  - Em todas as soldas de topo de fechamento do vaso e nas soldas de topo de acesso difícil para radiografia;
  - Nos locais de soldas provisórias, após remoção, de dispositivos auxiliares de montagem e de fixação de termopares para a execução do TTAT-Tratamento Térmico de Alívio de Tensões;
  - Na superfície externa da região conformada das partes e componentes fabricados por rebordamento e/ou prensagem;
- g. Fazer exame de partículas magnéticas ou de líquido penetrante nas seguintes regiões:
  - Nas soldas de anéis de reforço e de olhais de içamento no corpo do equipamento;
  - Em todas as soldas de acessórios internos e externos com o corpo;
  - Nas soldas de fixação dos suportes do equipamento e nas soldas de chapas de reforço de locais de suportes de tubulação e de plataforma;

- h. Verificação da espessura mínima dos tampos rebordeados, de partes ou componentes prensados e, quando aplicável, a espessura da chapa de clad ou de lining;
- j. Inspeção dos bocais e bocas de vista conforme item 25.5 Inspeção de Bocais e Bocas de visita, deste procedimento.

**25.4. Níveis de inspeção radiográfica na fabricação em função do tipo do serviço de vasos de pressão**

O serviço de um equipamento é função de um conjunto de características operacionais, físicas e químicas do fluido processado e dos contaminantes presentes no vaso de pressão, que podem provocar corrosão e/ou erosão generalizada ou localizada, ocorrência de trincas, riscos de explosividade; vazamentos tóxicos com danos às pessoas e ao meio ambiente.

Este conjunto de características identifica os serviços especiais, que influem diretamente no projeto e fabricação dos equipamentos envolvidos:

- Seleção dos materiais de construção;
- Limitações de condições operacionais, como temperatura e pressão,
- Requisitos específicos de fabricação, tratamento térmico, soldagem, inspeção, ensaios não destrutivos;
- Regras de ligação entre os componentes: solda, flanges, roscas; etc.

Há o serviço geral ou normal, isto é, sem características particulares, e os serviços especiais, que requerem requisitos particulares ao projeto e à fabricação de vasos de pressão.

<b>Tipo do Serviço do equipamento</b>	<b>Nível de Inspeção radiográfica</b>	<b>Necessidade do Tratamento térmico de alívio-TTAT-das tensões geradas na fabricação do equipamento</b>
Serviço Geral	RT parcial	Não. Somente exigido para aço carbono acima de 38 mm de espessura e aço de baixa liga (Cr-Mo).
Serviço Especial	RT total	Sim.
Equipamento a ser submetido a teste de pressão pneumático	RT total	Sim.

**25.5. Inspeção de ligações soldadas de bocais, bocas de visita e inspeção, na fabricação de vasos de pressão**

<b>ENDs – EXAMES NÃO DESTRUTIVOS APLICÁVEIS</b>			
<b>Bocal Diâmetro nominal</b>	<b>Solda Pescoço bocal X Flange pescoço</b>	<b>Solda Pescoço bocal X Flange sobreposto</b>	<b>Solda Pescoço bocal X Corpo ou Insert plate</b>
<b>&lt; 4"</b>	Visual e dimensional LP solda de raiz (1) RT solda acabada LP solda acabada (2)	Visual e dimensional LP solda acabada	Visual e dimensional LP chanfro LP solda de raiz (1) LP solda acabada (2)
<b>≥ 4"</b>	Visual e dimensional LP chanfros LP solda de raiz (1) RT solda acabada LP solda acabada (2)	Visual e dimensional LP solda acabada	Visual e dimensional LP região do chanfro LP passe de raiz (1) UT solda acabada LP solda acabada (2)

ENDs - EXAMES NÃO DESTRUTIVOS APLICÁVEIS			
Bocal Diâmetro nominal	Solda Pescoço bocal X Chapa de reforço	Soldas Corpo X Chapa de reforço	Solda Corpo X Insert plate
< 4"	NA (3)	NA (3)	NA (3)
≥ 4"	Visual e dimensional UT solda acabada LP solda acabada(2)	Visual e dimensional LP solda acabada (2) Teste de estanqueidade da chapa de reforço	Visual e dimensional LP região dos chanfros LP passe de raiz (1) RT solda acabada LP solda acabada (2)

**Notas:**

- (1) Para vasos construídos de aços Carbono, aços liga Cr-Mo, aços inoxidáveis; metais e ligas não ferrosos;
- (2) Para vasos construídos de aços Carbono; aços liga Cr-Mo; aços inoxidáveis; metais e ligas não ferrosos;
- (3) NA: Não Aplicável para bocais ≤ 4" para construção com Flange de Pescoço Longo (*LWN*);
- (RT) Radiografia parcial ou total, a depender do definido no projeto mecânico do vaso de pressão;
- (UT) UT *Phased Array* em todas as soldas prontas de bocais e bocas de visita.

**25.6. Resumo dos ENDs a aplicar nas soldas de fabricação**

- Verificação dos chanfros
  - a. Executar exame dimensional;
  - b. Executar exame UT convencional, nas chapas do casco e dos tampos, para verificação de possíveis laminações, para espessuras superiores a 0,50 pol.
- Soldas do corpo (casco e tampos)
  - a. Executar exame LP no passe de raiz para soldas de topo circunferenciais e longitudinais, garantindo que não haja trincas na raiz;
  - b. Executar exame RT-Radiografia total ou parcial, a depender do estabelecido no projeto, de soldas de topo circunferenciais e longitudinais, após prontas;
  - c. Executar LP nas soldas de suportes em paredes pressurizadas.
- Soldas de bocais e bocas de visita
  - a. Executar exame LP nas soldas de raiz de bocais e bocas de visita;
  - b. Executar exame com RT total ou parcial, a depender do estabelecido no projeto, nas soldas de topo, após prontas;
  - c. Executar exame com UT *Phased Array* nas soldas de filete, após prontas.

**Nota:**

- RT *Radiographic Test* Exame por Radiografia
- MT *Magnetic Particles Test* Exame por Partículas Magnéticas
- PT *Penetrant Liquid Test* Exame por Líquido Penetrante
- UT *Ultrasonic Test* Exame por Ultrassom

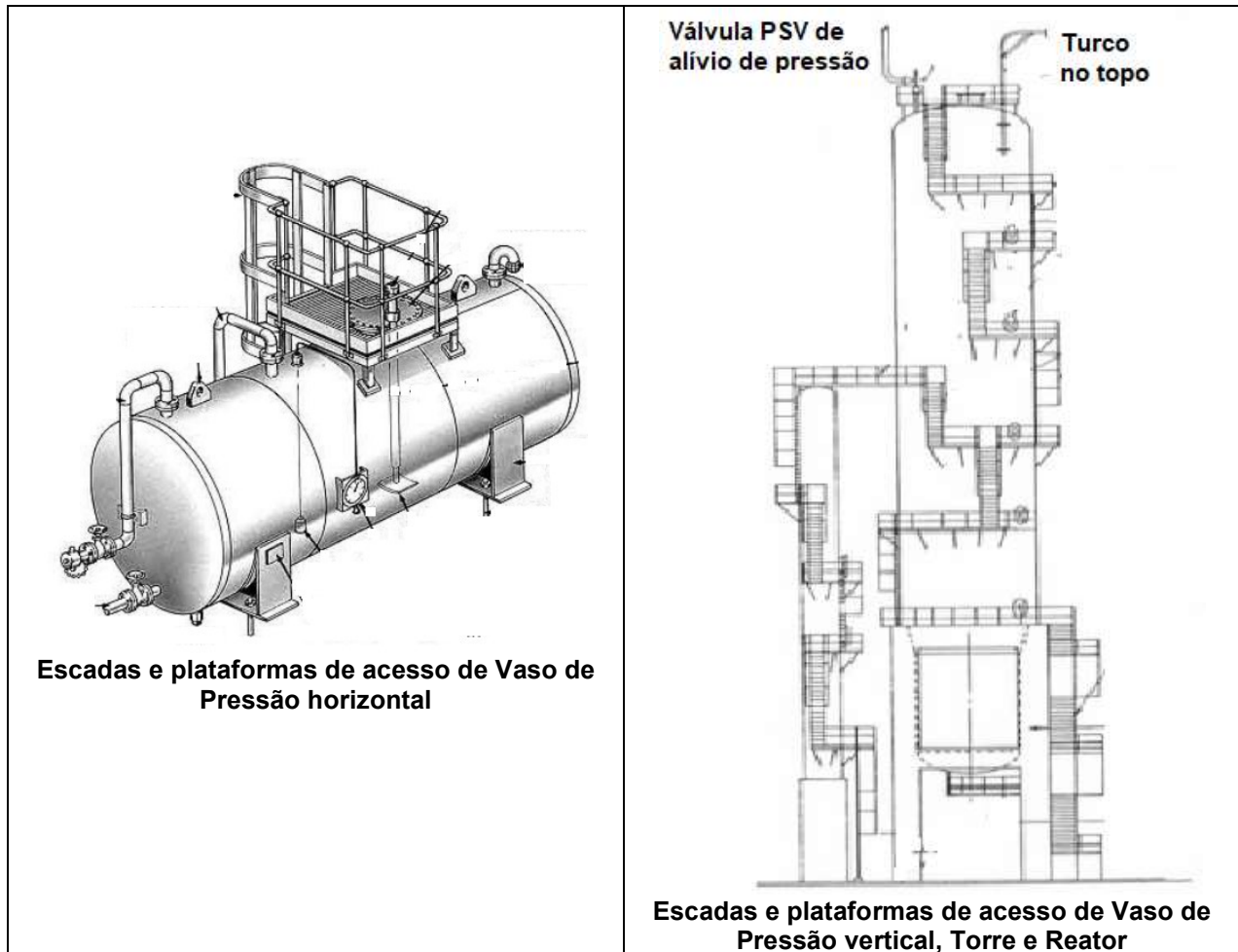
As especificações dos procedimentos de execução de inspeção ou exame das soldas devem ser baseadas no Código ASME Section V Nondestructive Examination.

**26. Plataformas e turcos de vasos de pressão**

Prever a instalação de plataformas e escadas metálicas, aparafusadas, apoiadas por grampos ou *clips* na parte externa do vaso,, para acesso dos operadores e pessoal de inspeção e manutenção.

As plataformas. geralmente estão localizadas junto às bocas de visita, de válvulas de alívio e outros acessórios, que precisam de inspeção e/ou manutenção frequente.

Na plataforma de topo dos vasos verticais, torres e reatores prever a montagem de turco para o içamento, manobra e descida de peças, ferramentas e material de inspeção e manutenção.



### Referência

BN-DS-A000 Design Standards Overview

<https://www.red-bag.com/design-standards/284-bn-ds-a000-design-standards-overview.html>

## 27. Exemplos de cálculos

### Referência

ASME VIII 1 item 1-4 Formulas for the Design of Formed Heads under Internal Pressure

#### 27.1. Tampo elipsoidal

*Example 1.* Determine the required thickness  $t$  of a seamless ellipsoidal head, exclusive of provision for corrosion for the following conditions:

$D = 40$  in;  $h = 9$  in;  $P = 200$  psi;  $S = 13,750$  psi;  
 $E = 1.00$ .

$$\frac{D}{2h} = \frac{40}{18} = 2.22$$

From Table 1-4.1,  $K = 1.14$ . Substituting in eq. (1),

$$t = \frac{200 \times 40 \times 1.14}{[2 \times 13,750 \times (1.00) - (0.2 \times 200)]} = 0.33 \text{ in.}$$

TABLE 1-4.1  
VALUES OF FACTOR  $K$   
(Use Nearest Value of  $D/2h$ ; Interpolation Unnecessary)

$D/2h$	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
$K$	1.83	1.73	1.64	1.55	1.46	1.37	1.29	1.21	1.14	1.07	1.00
$D/2h$	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	...
$K$	0.93	0.87	0.81	0.76	0.71	0.66	0.61	0.57	0.53	0.50	...

*Example 2.* Determine the maximum allowable working pressure  $P$  of a seamless ellipsoidal head for the following conditions:

$D = 30$  in.;  $h = 7.5$  in.; total thickness =  $\frac{1}{2}$  in. with no allowance for corrosion; maximum operating temperature =  $800^\circ\text{F}$ ;  $E = 1.00$ .

From the appropriate table given in Subpart 1 of Section II, Part D,  $S = 10,200$  psi.

$$\frac{D}{2h} = \frac{30}{15} = 2.0$$

From Table 1-4.1,  $K = 1.0$ . Substituting in eq. (1),

$$P = \frac{2 \times 10,200 \times 1.0 \times 0.5}{[1 \times 30 + (0.2 \times 0.5)]} = 339 \text{ psi}$$

## 27.2. Tambo torisférico

*Example 1.* Determine the required thickness  $t$ , exclusive of allowance for corrosion, of a torispherical head for the following conditions:

$D = 40$  in.;  $L = 40$  in.;  $r = 4$  in.;  $P = 200$  psi;  $S = 13,750$  psi;  $E = 1.00$  (seamless head).

$$\frac{L}{r} = \frac{40}{4} = 10$$

and from Table 1-4.2,  $M = 1.54$ . Substituting in eq. (3),

$$t = \frac{200 \times 40 \times 1.54}{[2 \times 13,750 \times (1.00) - (0.2 \times 200)]} = 0.45 \text{ in.}$$

TABLE 1-4.2  
VALUES OF FACTOR  $M$   
(Use Nearest Value of  $L/r$ ; Interpolation Unnecessary)

$L/r$	1.0	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50
$M$	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22
$L/r$	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
$M$	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50
$L/r$	9.5	10.00	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	$16\frac{2}{3}^1$
$M$	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77

NOTE:

(<sup>1</sup>) Maximum ratio allowed by UG-32(j) when  $L$  equals the outside diameter of the skirt of the head.



*Example 2.* - Determine the maximum allowable working pressure  $P$  of a torispherical head for the following conditions:

$D = 30$  in.;  $L = 24$  in.;  $r = 2.00$  in.;  $E = 1.00$  (seamless head); total thickness = 0.5 in. with no allowance for corrosion; material conforms to SA-515 Grade 70; maximum operating temperature = 900°F.

From the appropriate table given in Subpart 1 of Section II, Part D,  $S = 6500$  psi.

$$\frac{L}{r} = \frac{24}{2.00} = 12.0$$

From Table 1-4.2,  $M = 1.62$ . Substituting in Eq. (3),

$$P = \frac{2 \times 6500 \times 1.0 \times 0.5}{24 \times 1.62 + 0.2 \times 0.5} = 167 \text{ psi}$$