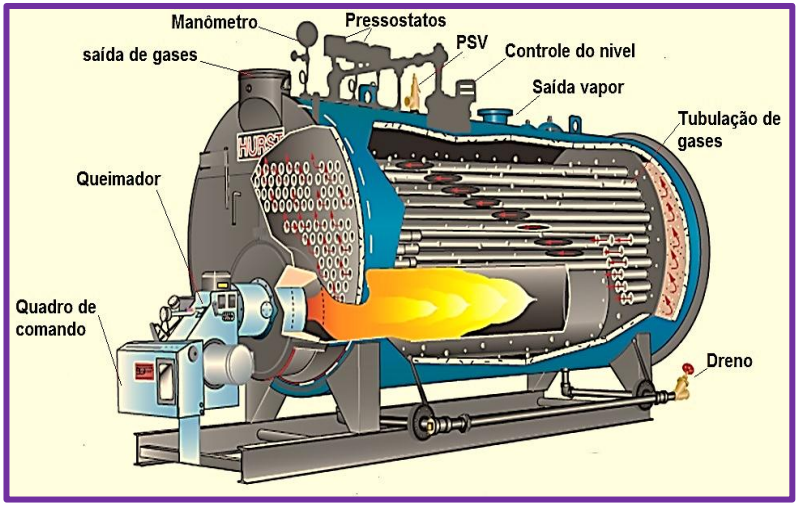
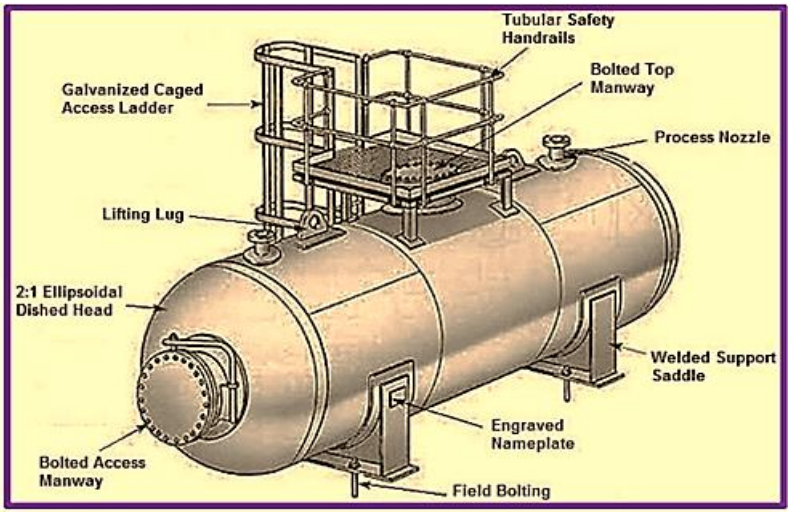
Jurandir Primo

Parte 1 - Caldeiras de Vapor
ASME Section I



Parte 2 – Vasos de Pressão
ASME Section VIII



Caldeiras de Vapor & Vasos de Pressão
ASME Section I & Section VIII

Jurandir Primo
Copyright @ 2023
1ª edição – Janeiro de 2024

Capa: Jurandir Primo – Sorocaba/SP

Primotech – Manuais de Engenharia

Primo, Jurandir

Vasos de Pressão, Tanques, Caldeiras, Tubulação;

Índice para pesquisas: Sistemas Industriais, Tubulação Industrial e Anexos.

ISBN:

Livro no sistema de auto-publicação cuja edição, revisão, diagramação e capa foram selecionadas pelo próprio autor, para diminuir custos e facilitar a todos os interessados em engenharia e tecnologia.

O autor permite que todas as partes do livro possam ser copiadas ou reproduzidas para fundamentos educacionais, instrutivos e treinamento técnico.

Para adquirir esta ou outras publicações do autor, enviar solicitação para:

primotechcourses@hotmail.com

INDICE:

1. INTRODUÇÃO:

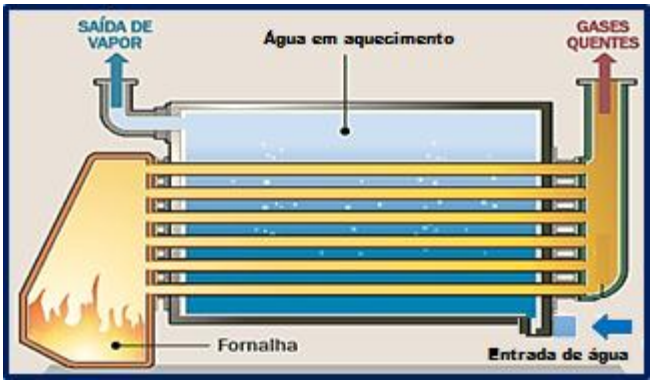
2. ASME SECTION I & SECTION VIII:
3. MÉTODOS DE PROJETO:
4. SEÇÕES ASME:
5. SEÇÃO I - POWER BOILERS (CALDEIRAS DE VAPOR):

1. PART PG – REQUISITOS PARA TODOS OS MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO
2. PART PW – REQUISITOS PARA CALDEIRAS FABRICADAS POR SOLDAGEM
3. PART PB – REQUISITOS PARA CALDEIRAS FABRICADAS POR BRAZAGEM
4. PART PWT – REQUISITOS PARA CALDEIRAS AQUA-TUBULARES
5. PART PFT – REQUISITOS PARA CALDEIRAS FLAMO-TUBULARES
6. PART PFH – REQUISITOS PARA AQUECEDORES DE ÁGUA
7. PART PMB – REQUISITOS PARA CALDEIRAS MINIATURAS
8. PART PEB – REQUISITOS PARA CALDEIRAS ELÉTRICAS
9. PART PVG – REQUISITOS PARA VAPORIZADORES ORGÂNICOS
10. PART PHRSG – REQUISITOS PARA GERADORES DE RECUPERAÇÃO DE CALOR

1.0 - INTRODUÇÃO:

Caldeiras de Vapor: Segundo a **NR13**, caldeiras são equipamentos destinados a **gerar** e acumular vapor, a pressão superior a atmosférica, projetados conforme códigos pertinentes. São classificadas em **3 tipos**: Flamotubulares; Aquatubulares e Mistas.

Caldeiras Flamotubulares: Nessas caldeiras, a água circula por **fora** dos tubos e os **gases** quentes circulam por **dentro** dos tubos, utilizadas para baixa pressão até 30 t/h de geração de vapor. Os gases sob chama esquentam os tubos, aquecendo a água durante a passagem. Suas partes principais são; casco, tubos e espelhos (placas para fixação dos tubos).



Caldeiras Aquatubulares: Nessas caldeiras, a **água** que será transformada em vapor, passa por **dentro** dos tubos e os gases quentes ficam por **fora** dos tubos. Suportam mais altas pressões e temperaturas e produzem grande quantidade de vapor, oferecendo maior eficiência na produção.

Caldeiras Mistas: Junção de caldeiras **flamotubulares** e **aquatubulares**, onde misturam o processo de combustão de ambas, inclusive utilizando combustíveis sólidos como biomassa.

Este manual considera apenas os cálculos básicos para os códigos de projeto da **Seção I e da Seção VIII**. Os setores de acordo com ASME são divididos em doze seções e cada uma delas trata de áreas específicas. Porém, resumidamente, existem mais cinco seções do Código que envolvem o dia a dia da fabricação de Caldeiras e Vasos de Pressão, conforme descrito a seguir:

2.0 – ASME SECTION I & SECTION VIII:

O Conselho Nacional de Inspetores de Vasos de Pressão e Caldeiras (NBBPVI) usa o símbolo "**NB**". O escopo da **Seção I** aplica-se apenas para **Caldeiras de Vapor** e a **Seção VIII** aplica-se apenas para **Vasos de Pressão**. Os superaquecedores, economizadores e outros conjuntos de pressão consideradas **partes** da própria caldeira e sua construção deve estar de acordo com as normas de projeto e fabricação. A **Seção I** especifica requisitos para todos os métodos de construção de caldeiras de água de alta temperatura usadas em serviço estacionário; caldeiras elétricas, caldeiras em miniatura, e caldeiras de força usadas em serviços de locomotivas, portáteis e de tração.

3.0 – MÉTODOS DE PROJETO:

Os principais códigos do ASME usados para cálculos gerais são o **ASME Section I – Power Boilers** e o **ASME Section VIII – Pressure Vessels**, que nos projetos requerem que as juntas soldadas de topo longitudinais e circunferenciais sejam examinadas por radiografia completa. Quando o projeto do vaso requer uma junta soldada de topo longitudinal totalmente radiografada, o corpo cilíndrico deverá ter um **fator de eficiência** da junta (E) de **1,0**. Este fator corresponde a um fator de segurança (ou fator de qualidade do material) de 3,5 no metal original.

Quando o projeto do vaso requer juntas longitudinais soldadas de topo não radiografadas, o **fator de eficiência** da junta (E) deve ser de **0,7**, que corresponde a um fator de segurança de 0,5, resultando em um aumento de **43%** na espessura das chapas. Os valores máximos de tensão permitidos para serem usados no cálculo da espessura da parede do vaso são dados no Código da Caldeira para muitos materiais diferentes. Esses valores de tensão estão uma função da temperatura.

Tensão Admissível: A tensão admissível usada para determinar a **espessura mínima** da parede do vaso é baseada na tração do material, nas propriedades de escoamento e na temperatura ambiente do projeto. Quando o vaso opera em **temperatura** elevada, as propriedades de **fluência** do material também devem ser consideradas. Essas propriedades são ajustadas por fatores de projeto que limitam o nível de tensão da membrana a um valor que impede a ruptura a distorção elástica ou plástica excessiva e ruptura por fluência.

Cargas de Projeto: São **forças** que influenciam no projeto de vasos de pressão. Essas cargas são; a pressão interna/externa; cargas mortas devido ao peso do casco e conteúdo; cargas externas de tubulações e acessórios, vento e terremotos; cargas do tipo operacional, como vibração e peso do conteúdo; e as cargas de inicialização e desligamento. O Código considera a pressão de projeto, a temperatura e, até certo ponto, a influência de outras cargas que afetam as **tensões** circunferenciais e longitudinais nos vasos. Cabe ao projetista considerar o efeito de outras cargas, pois os códigos de construção nacionais e locais devem ser consultados para lidar com cargas de vento e terremotos.

Procedimentos de Certificação e Inspeção: Os **símbolo**s "A", "S", "U", "PP" e "H" **abrangem** a fabricação e alteração de caldeiras de alta pressão, vasos de pressão sem chama, tubulações de energia e caldeiras de aquecimento. Uma vez que qualquer ASME

Stamped Pressure Vessel é fabricado, ele é verificado, testado e aprovado pelo "*Inspetor Autorizado ASME*", que revisa os procedimentos, a documentação e assina o Formulário de Relatório de Dados, antes de **carimbar** a placa de identificação com o "**U**" ou " **UM**", o que significa que a Caldeira ou o Vaso de Pressão está em total conformidade com as regras do Código ASME para construção conforme as Seções I e VIII.

O National Board of Boiler & Pressure Vessels usa o símbolo "**NB**" e também o símbolo "**R**" para reparar ou alterar qualquer ASME Stamped Pressure Vessel. Todo material utilizado na fabricação deve ser documentado. Todos os soldadores devem ser certificados. Os fabricantes têm um "*Inspetor Autorizado de Soldagem*", que é o juiz da aceitabilidade do código. A qualidade da solda é verificada quanto a falta, penetração, inclusão de escória, sobreposição e reforço excessivo. Na inspeção final, as unidades são testadas hidrostaticamente e observadas quanto a vazamentos.

4. SEÇÕES ASME:

I. Power Boilers;
II. Materials;
III. Rules for Construction of Nuclear Facility Components;
IV. Heating Boilers;
V. Nondestructive Examination;
VI. Recommended Rules for the Care and Operation of Heating Boilers;
VII. Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers;
VIII. Pressure Vessels;
IX. Welding and Brazing Qualifications;
X. Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels;
XI. Rules for In-service Inspection of Nuclear Power Plant Components;
XII. Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks.

Unidades Métricas e Americanas: Profissionais e estudantes devem ser bem versados na **prática de conversão**. Muitos valores de unidades usuais dos EUA apresentados nos códigos da caldeira não são convertidos diretamente em valores métricos. As fórmulas são usadas para determinar a espessura mínima necessária e a pressão de projeto de tubulações, tubos, tambores e coletores usando a **Pressão Máxima de Trabalho Admissível** (PMTA ou MAWP). O parágrafo UG-31 afirma que essas fórmulas também podem ser usadas para calcular a espessura da parede de tubos e tubulações sob pressão interna.

Materiais: Os materiais a serem usados em vasos de pressão devem ser selecionados a partir de especificações de materiais aprovados. Os fatores que precisam ser considerados para um material de fabricação adequado para vasos de pressão são custo, fabricação, condição de serviço (desgaste, corrosão, temperatura operacional) e requisitos de resistência. Materiais de vasos de pressão, tubulações e caldeiras são fornecidos pelo ASME **Seção II, Parte A** - Especificações de materiais ferrosos, Parte B - Especificações de materiais não ferrosos, Parte C - Especificações para hastes de solda, eletrodos e metais de adição, Parte D - Propriedades (Comum/Métrico).

1. Section I – Power Boilers (Caldeiras de Vapor): Fornece requisitos para todos os métodos de construção de caldeiras elétricas, elétricas e em miniatura; caldeiras de água de alta temperatura usadas em serviço estacionário; e caldeiras de força usadas em serviços de locomotivas, portáteis e de tração.

2. Section II – Materials (Materiais): Dividido em 4 partes:

Parte A: Especificações de Materiais Ferrosos - Qualidade, Composição Química, Requisitos de Tração, etc.;
Parte B: Especificações de materiais não ferrosos;

Parte C: Especificações para Varetas de Soldagem, Eletrodos e Metais de Adição;
Parte D: Propriedades de Materiais Ferrosos.

3. Section V - Nondestructive Examination (Testes Não Destrutivos: Especificamente determina as Normas e os procedimentos para o exame não destrutivo: Radiográfico, Ultrassônico, Líquido Penetrante, Partículas Magnéticas e Teste de Vazamento.

4. Section VIII – Pressure Vessels (Vasos de Pressão): É dividido em três divisões:

Divisão 1 - Fornece requisitos aplicáveis ao projeto, fabricação, inspeção, teste e certificação de vasos de pressão operando em pressões internas ou externas superiores a **15 psig**.

Divisão 2 – São regras alternativas que fornecem requisitos aplicáveis ao projeto, fabricação, inspeção, teste e certificação de vasos de pressão operando em pressões internas ou externas superiores a **15 psig**, mas valores mais altos de tensão de projeto são permitidos.

Divisão 3 – São normas alternativas para construção de vasos de pressão que fornecem requisitos aplicáveis ao projeto, fabricação, inspeção, teste e certificação de vasos de pressão operando com pressões internas ou externas acima de **10.000 psi**.

5. Section IX - Welding and Brazing Qualifications (Qualificações de Soldagem e Brasagem: Fornece requisitos como Qualificações de Procedimento, Qualificação de Soldadores, Operadores de Solda e Procedimentos de Brasagem, Soldadores, Operadores de Solda e Brasagem. E também fornece condições de aplicação de eletrodos, materiais e valores de avaliação para tensões admissíveis de projeto e fabricação.

5. SEÇÃO I - POWER BOILERS (CALDEIRAS DE VAPOR):

O escopo da Seção I aplica-se apenas a caldeiras e tubulações externas de caldeiras. Os superaquecedores, economizadores e outros conjuntos de pressão conectadas diretamente à caldeira, sem válvulas, são consideradas **partes** da própria caldeira e sua construção deve estar de acordo com as regras da **Seção I**. Esta divisão cobre especificamente as **regras de construção** de caldeiras de força, caldeiras elétricas, caldeiras em miniatura e caldeiras de água de alta temperatura.

Projeto de Caldeiras: Caldeiras são vasos de pressão projetados para **aquecer água ou produzir vapor**, que podem ser utilizados para aquecimento de ambientes e/ou aquecimento de água de serviço, podendo consistir em fonte de energia combustível ou elétrica, que aquece água e/ou gera vapor. Na maioria das aplicações de aquecimento de edifícios comerciais, a fonte de aquecimento é um queimador a gás natural. Caldeiras de água quente são comuns em aplicações comerciais, como aquecimento de conforto, lavagem de louça e roupas. As caldeiras a vapor são usadas com mais frequência para acionar turbinas para geração de energia, bem como para aplicações de aquecimento industrial.

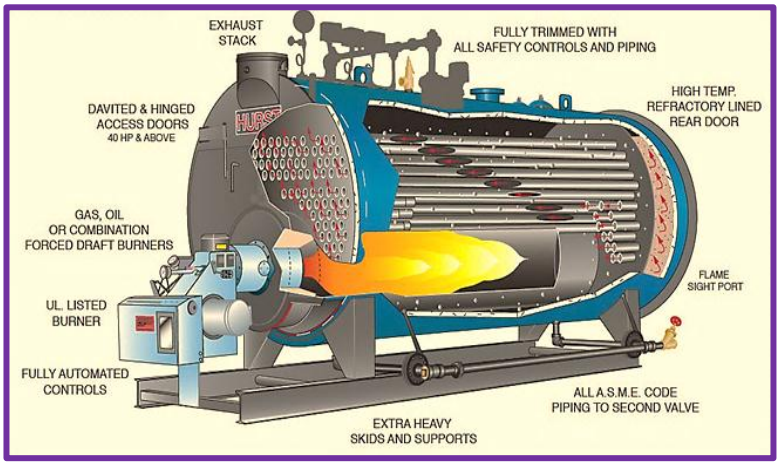
Materiais: As chapas de aço para caldeiras submetidas a pressão, **expostas ou não ao fogo**, devem estar de acordo com as especificações da Seção I, que estabelece que tubulações, tubos e peças pressurizadas utilizadas em caldeiras devem estar de acordo com as especificações acordadas, de acordo com a **Seção II, Parte D**, **Tabela 1A**.

Temperatura: A temperatura mínima usada no projeto deve ser a temperatura mais baixa de trabalho da caldeira, incluindo operação normal, condição de perturbação ou condições ambientais.

Projeto: A Seção I, define que a **espessura mínima** de qualquer chapa de caldeira sob pressão deve ser de **6 mm** (1/4 pol.). A espessura mínima das chapas onde os tirantes podem ser fixados deve ser de **8 mm** (5/16 pol.). Quando um tubo for superior a 125 mm (5,0") O.D. for usado, em vez de chapa calandrada para os componentes cilíndricos sob pressão, sua espessura mínima de parede deve ser também de **6 mm** (1/4 pol.). A Seção I também define que o termo Pressão Máxima de Trabalho Admissível (MAWP) sempre se refere à pressão manométrica, exceto quando modificado na fórmula de cálculo.

Espessura das Chapas Sob Pressão Interna: As fórmulas da Seção I são usadas para determinar a **espessura mínima** exigida de tubulações, tubos, vasos e coletores, quando a pressão máxima de trabalho permitida é conhecida. Essas fórmulas também podem ser transpostas para determinar a **Pressão Máxima de Trabalho Admissível** (PMTA ou MAWP). Os símbolos usados nas fórmulas são definidos da seguinte forma:

P = A pressão máxima de trabalho permitida (MPa, Kg/cm², psi) refere-se à pressão manométrica);
D = Diâmetro externo do cilindro (mm, polegadas);
R = Raio interno do cilindro ou casco (mm, psi);
t = Espessura mínima exigida (mm, psi);
C = Tolerância de corrosão para rosqueamento e estabilidade (mm, polegadas);
S = Valor máximo admissível de tensão na temperatura de operação (Seção II, Parte D, Tabela 1A);
E = Eficiência de juntas soldadas longitudinais. Totalmente radiografada com um fator de eficiência da junta (E) de **1,0**. Juntas longitudinais soldadas de topo **não radiografadas** têm um fator de eficiência da junta (E) de **0,7**. Em geral o fator utilizado é E = **0,85**.
y = Coeficiente de temperatura.



Caldeiras flamotubulares:2 passagens, 3 passagens, e 4 passagens

Tipos de juntas soldadas: Topo, longitudinais e circunferenciais.

a. A junta longitudinal **totalmente radiografada** com solda de topo em uma casca cilíndrica deve ter um fator de eficiência da junta (E) de **1,0**. Este fator corresponde a um fator de segurança (ou fator de qualidade do material) de 3,5.

b. As juntas longitudinais **não radiografadas** devem ter um fator de eficiência de junta (E) de **0,7**, que tem um fator de segurança de 0,5 resultando em um aumento de **43%** na espessura das chapas. Para cálculos gerais, também pode ser utilizado o fator 0,85.

Os Códigos de Caldeiras (Section I) abrangem as **regras para a construção** de caldeiras de potência, como; 1 - caldeiras elétricas; 2 - caldeiras em miniatura; 3 - caldeiras de água de alta temperatura; 4 - geradores de vapor de recuperação de calor; 5 - certos vasos de pressão sob fogo; 6 - serviços estacionários, incluindo caldeiras de pressão utilizadas em serviço de locomotivas, caldeiras portáteis e de tração. A referência a um parágrafo inclui todos os subparágrafos e subdivisões desse parágrafo:

O âmbito destas regras aplica-se tanto à caldeira como à tubagem externa. Superaquecedores, economizadores e outras peças de pressão conectadas diretamente à caldeira sem válvulas intermediárias devem ser consideradas **partes** da própria caldeira e sua construção deve estar de acordo com as **regras** da Seção I. A tubulação externa da caldeira deve ser considerada, quando começa e onde termina a caldeira com superaquecedor isolável ou com economizador isolável, em:

a) A primeira junta circunferencial para conexões de extremidade de soldagem;
b) A face do primeiro flange em conexões aparafusadas;
c) A primeira junta roscada nesse tipo de conexão, incluindo as válvulas exigidas por este Código.

Um vaso de pressão no qual o vapor é gerado pela aplicação de calor da combustão de combustível (sólido, líquido ou gasoso) deve ser classificado como uma caldeira a vapor. No entanto, outros vasos são classificados como caldeiras de vapor não sob fogo, com as seguintes exceções:

a) Vasos denominados evaporadores ou trocadores de calor;
b) Vasos nos quais o vapor é gerado pelo aproveitamento do calor proveniente da operação de um sistema de processamento contendo uma série de vasos de pressão, como os usados em produtos químicos e derivados de petróleo;

Caldeiras de vapor **não flamotubular** e tanques de expansão conectados a caldeiras de água de alta temperatura, sem válvulas intermediárias, devem ser construídos de acordo com as regras da **Seção I** ou **Seção VIII**. Um vaso de pressão no qual um **fluido orgânico** é vaporizado pela aplicação de calor da combustão de combustível (sólido, líquido ou gasoso) também é construído de