

## **Requisitos suplementares para projeto e construção de Fornos de Processo**

### **1. Documentação básica**

1.1. Durante a execução do projeto de construção completo de um Forno de Processo, a documentação gerada em cada fase estabelece requisitos e detalhes que devem ser atendidos nas fases posteriores, junto com os requisitos definidos nas normas e padrões listados no item 1.3, bem como os estabelecidos nesta Especificação Técnica.

1.2. A seguir é apresentada a relação da documentação que deverá ser gerada e seguida durante a execução das diversas fases do projeto:

Desenhos, Folhas de Dados, Especificações Técnicas, Memoriais Descritivos, Memórias de Cálculos, Requisições de Materiais, Procedimentos de Fabricação, Procedimentos de Montagem, Procedimentos de Instalação, etc;

1.3. As seguintes normas e padrões de engenharia devem ser seguidos:

#### **Normas Petrobras:**

N-250 – Montagem de Isolamento Térmico a Alta Temperatura;

N-550 – Projeto de Isolamento Térmico a Alta Temperatura;

N-1617 – Aplicação de Concreto Refratário;

N-1637 – Montagem e Condicionamento de Forno;

N-1671 – Projeto e Fabricação de Forno;

N-1728 – Concreto Refratário;

N-1910 – Projeto de Revestimentos de Concretos Refratários;

N-2106 – Bocal de Forno;

N-2780 – Janela de Observação com Vidro.

#### **Normas da ABNT:**

NBR 6123 – Vento em Edificações

NBR 9688 - Isolantes Térmicos de Lã Cerâmica

NBR 10662 – Isolantes Térmicos Pré-moldados de Silicato de Cálcio – Especificação

NBR 10700 - Planejamento de Amostragem em Dutos e Chaminés de Fontes

Estacionárias;

NBR 10701 - Determinação de Pontos de Amostragem em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias.

#### **Normas e padrões internacionais:**

API 530 - Calculation of Heater-Tube Thickness in Petroleum Refineries;

API RP 535 – Burners for Fired Heaters in General Refinery Service

API 560 - Fired Heaters for General Refinery Services;

API 610 - Centrifugal Pumps for General Refinery Services;

API 611 – General Purpose Steam Turbines for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries;

API 673 - Centrifugal Fans for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services;

AISC – Manual of Steel Construction;

ASME B16.5 - Steel Pipe Flanges and Flanged Fittings;

ASME B16.9 – Factory - Made Wrought Steel Buttwelding Fittings;

ASME B16.11 - Forged Steel Fittings, Socket-Welding and Threaded;

ASME B16.20 – Metallic Gaskets for Pipe Flanges-Ring Joints, Spiral Wound and Jacketed;

ASME B16.28 – Wrought Steel Buttwelding Short Radius Elbows and Return Bends;

ASME B31.3 - Process Piping;

ASME B36.10 - Welded and Seamless Wrought Steel Pipe;

ASME - Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, "Welding and Brazing Qualifications";

ASME PVBC Sec. I - Boiler and Pressure Vessel Code, Section I, "Power Boilers";

ASME STS-1 – Steel Stacks;  
ASTM - Applicable Material and Testing Specifications.

## **2. Requisitos técnicos**

2.1. O projeto e a fabricação dos fornos devem estar de acordo com o API Standard 560, complementado/modificado pelos itens a seguir.

2.2. As espessuras dos tubos de processo devem ser calculadas conforme API Standard 530- Calculation of Heater-Tube Thickness in Petroleum Refineries.

Para tubos de aquecimento de BFW-Boiler Feed Water, Geração e Superaquecimento de Vapor, o cálculo das espessuras deverá ser realizado conforme o ASME PVBC Sec. I.

2.3. Usar preferencialmente especificações para os materiais do tubo, tipo condução (“pipe”), para as serpentinas.

2.4. Prever as facilidades para limpeza das serpentinas por “pigging”.

2.5. Prover, sempre que possível, a instalação de bocas de visita e plataformas para acesso ao interior da chaminé, além de pares de bocais locados diametralmente opostos que serão usados para apoio de vigas removíveis, a serem instaladas para a montagem de andaimes internos durante a manutenção do forno. A localização e quantidade destes bocais serão definidas no detalhamento, considerando as dimensões da chaminé e necessidades da manutenção.

2.6. Deverão ser previstas portas de alívio de pressão nas paredes da radiação. A instalação deverá ser em local seguro, sem acesso e/ou plataforma.

2.7. Os bocais de amostragem e de instalação de instrumentos devem estar de acordo com N-2106.

2.8. A chaminé deve ter pontos de coleta e amostragem de gases para medição de material particulado, SOx e NOx conforme as Normas da ABNT, NBR 10700 e NBR 10701.

2.9. As bocas de visita devem ser laterais para fornos com geometria da câmara de radiação tipo cabine ou caixa, sendo impedido de colocá-las no teto ou no piso, enquanto que nos fornos com geometria da câmara de radiação tipo cilíndrica, as bocas de visita devem ser no teto e no piso.

2.10. Os acionadores dos abafadores (“dampers”) de controle de pressão e vazão devem ter acionamento duplo, nas condições automático e manual com motor pneumático, e ficar no piso ou ao nível de uma plataforma, para facilitar o acesso e a manutenção.

2.11. As válvulas de acionamento automático (XCVs) do sistema de vapor de purga (abafamento) do Forno devem possuir desvios (by-passes) para possibilitar a manutenção, testes e também para atuação manual quando falharem fechadas.

2.12. Deverá ser prevista a aplicação de uma camada de 3 mm de massa anticorrosiva na face interna da chaparia antes da aplicação do refratário/isolante térmico, devendo apresentar as seguintes características:

a) densidade: 0,9 g/cm<sup>3</sup> a 0,95 g/cm<sup>3</sup>;

b) temperatura limite de utilização: 160 °C;

c) choque térmico: -40 °C a 120 °C;

d) perda de peso a 25 °C: 5 %;

e) ponto de fulgor: não se aplica (produto não deve ser inflamável);

f) resistência ao meio ácido: imersão por um período de 15 dias em solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,

com concentração de 10 %, após secagem total em estufa a 120 °C, aproximadamente 2 horas; durante o teste o pH deve ser mantido entre 0 e 1;

g) choque térmico: submeter o corpo-de-prova, após secagem total em estufa a 120 °C, aproximadamente 2 horas por, no mínimo, 25 ciclos com aquecimento de 160 °C durante 15 min e resfriamento à temperatura ambiente.

2.13. Para maximização da eficiência térmica do Forno deve ser avaliada a geração de vapor de alta pressão.

2.14 Devem ser previsto, onde necessário, acesso e espaço para o raqueteamento ou colocação de figura 8 nas tubulações, bem como em dutos de ar e de gases de combustão.

2.15 Devem ser previstos drenos para a saída da água de lavagem dos tubos das seções de radiação e de convecção.

2.16 As janelas de inspeção, posicionadas de forma a permitir a visualização dos queimadores, devem ter um vidro temperado internamente e um vidro escuro (filtro) articulado, externamente, para proteção contra a saída dos gases e contra a alta luminosidade das chamas, respectivamente, conforme Norma PETROBRAS N-2780- Janela de Observação com Vidro..

2.17 Os queimadores deverão ser do tipo “Low-NOx” e na especificação de compra deve constar o atendimento aos seguintes itens:

- adequação do envelope de chama à câmara de combustão;
- adequação do sistema de distribuição de ar para os queimadores;
- adequação da vibração aos limites aceitáveis.
- estudos de CFD com modelagem física e análise termoacústica.

2.18 O fabricante do forno deverá avaliar a necessidade de instalação de abafadores de ruído para que seja respeitado o limite de 85dB a 1m da fonte.

2.19 Prever tubos flexíveis entre a tubulação rígida de gás combustível e o anel distribuidor de gás montado no queimador e também para o piloto.

2.20 Os fornos que operam com gás combustível devem ter, preferencialmente, a superfície interna das paredes e do teto da seção de radiação revestidas com blocos de fibra cerâmica.

2.21 O projeto de Fornos com tubos verticais se deve prever uma distância das curvas inferiores ao piso o suficiente para permitir a manutenção e inspeção (medição de espessura) das mesmas.

2.22 O corpo das caixas das curvas deve ser removível, de forma a facilitar a inspeção e a soldagem de novas curvas em paradas do Forno para manutenção. As tampas devem ser pivotadas (com dobradiça), sempre que possível.

2.23 Os pré-aquecedores usados em sistema de pré-aquecimento de ar de combustão devem ser, preferencialmente, do tipo "estático".

2.24 O projeto da chaminé do forno deve atender aos seguintes requisitos:

- O diâmetro interno (superfície interna do refratário) e a altura da chaminé devem atender aos requisitos de tiragem do forno;
- A altura da chaminé deve ser de, no mínimo, 50 m de modo a atender à Resolução CONAMA 3, aos requisitos de Órgãos Locais de Controle de Poluição Ambiental e a

elevação do topo da chaminé ser conforme os requisitos do item 9.1.1.4 da Norma Petrobras N-1674 – Projeto de Arranjo de Refinarias de Petróleo.

2.25 Usar preferencialmente especificações para os materiais do tubo, tipo condução ou “pipe”, para as serpentinas, conforme especificações do API Standard 560 - Fired Heaters for General Refinery Service. As espessuras dos tubos devem ser calculadas conforme API Standard 530 / ISO 13704 - Calculation of Heater-Tube Thickness in Petroleum Refineries.

2.26 Avaliar durante a fase do Projeto Básico, as facilidades para uso do "Steam Air Decocking" (limpeza interna por vapor-ar) nos fornos com risco de coqueamento do produto e limpeza mecânica por uso de “pigging”, e ainda o uso de limpeza “spalling on line” com o forno em operação, para minimizar a limpeza interna dos tubos dos equipamentos.

2.27 Nas lanças dos sopradores de fuligem não devem ser utilizados materiais temperáveis como os materiais de aço inoxidável ferrítico (exemplo: AISI-446).

2.28 Prever a instalação de bocas de visita e vigas intermediárias no interior das chaminés, para montagem de andaimes.

2.29 Prever acessos para raqueteamento, tanto das linhas, como dos dutos de ar / gás dos fornos.

2.30 Prever abertura automática das portas do duto de ar quente ou janelas de entrada de ar de combustão no “plenum” do forno, quando houver desvio do sistema de preaquecimento do ar, possibilitando a operação do equipamento em tiragem natural.

2.31 As laterais da zona de convecção do forno devem ser removíveis para facilitar a substituição de painéis pré-refratados, permitindo o acesso aos tubos através de plataformas.

2.32 Prever acessos para limpeza dos tubos pinados, da zona de convecção, através de bocas de visita na região da coifa, para facilitar serviços de manutenção e inspeção do forno, conforme API Standard 560.

2.33 Prever caixas de neutralização para a área de processo, principalmente para coletar o efluente da lavagem de fornos.

2.34 A janela de explosão deve ser acessível a partir do piso ou de plataforma próxima para que se possa testar a movimentação. Para o caso de abertura, se deve avaliar a expansão dos gases, para que não atinjam eventualmente pessoas no local.

2.35 Prever ignitor elétrico para acendimento de pilotos.

2.36 Os maçaricos dos fornos devem dispor de um sistema mecânico automático de bloqueio do óleo combustível, para evitar que as situações de coqueamento e derramamento / escorrimento de combustível acarretem incêndio na parte inferior da câmara de ar. O acionamento, em princípio, pode originar-se em um elo-fusível de alumínio (fusão a aproximadamente 600 °C) comandando um gatilho que libera a atuação de uma mola ou contrapeso, para o acionamento da válvula de bloqueio.

2.37 As válvulas de vapor de abafamento (XCVs) dos fornos devem ter "by-pass" para possibilitar manutenção, teste e permitir atuação manual nos casos de falhar fechada.

2.38 Especificar o revestimento refratário e isolante dos fornos de forma a minimizar a infiltração dos gases de combustão e evitar a corrosão ácida na chaparia lateral. O API Standard 560 define a temperatura máxima na face externa da chaparia do forno.

2.39 Prever área externa entre o forno e o arruamento, com espaço suficiente para troca de tubos nos fornos tipo cabine ou caixa, onde os tubos são montados na posição horizontal.

2.40 Preferencialmente, a recuperação de calor dos gases da chaminé deve ser através de sistema de preaquecimento de ar. No entanto, avaliar no Projeto Básico o aumento da eficiência do equipamento, com introdução de serviços auxiliares de troca térmica na convecção, tais como: geração ou superaquecimento de vapor.

2.41 A chaminé deve ter pontos de coleta e amostragem de gases para medição de material particulado, SOx e NOx. São 4 (quatro) pontos para chaminé de diâmetro maior que 1.500 mm e 2 pontos para as menores; cada ponto deve ter 4" de diâmetro, flangeados com flanges de 150 # e com pescoço de 200 mm de comprimento externo à chaminé e refratado internamente. Os furos devem ser localizados em uma seção da chaminé que tenha à montante um trecho reto, sem singularidades, de no mínimo 2 D e à jusante 0,5 D, onde "D" é o diâmetro da chaminé. O ideal é que os trechos retos sejam de 8 D à montante e 2D à jusante. A elevação dos bocais e da plataforma de trabalho devem ser conforme as Normas da ABNT, NBR 10700 e NBR 10701.

2.42 O Forno equipado com queimador vertical deve ter uma altura mínima de 2 m entre o piso (considerando a caixa de ar) e o corpo do queimador, para permitir a circulação normal de pessoas para operação e manutenção sob o fundo.

2.43 Prever chapas de proteção do refratário dos fornos junto à abertura de entrada dos sopradores de fuligem. Essas chapas devem ter dimensões suficientes para evitar a incidência de jatos de vapor no refratário, e ser de aço inoxidável em regiões com temperatura acima de 500 °C.

2.44 Utilizar os seguintes materiais para as lanças de sopradores de fuligem:

- lanças retráteis: AISI 304;
- lanças fixas: aço carbono alonizado (interna e externamente).

2.45 Prever as seguintes condições para inspeção interna e externa de chaminés com altura superior a 60 m (submeter o projeto a análise da carga de vento e possível processo de corrosão por gases da combustão ao suporte da plataforma de topo):

- trilho / trole de pintura para operação externa de um balancim;
- turco para operação interna de um balancim;
- escada de marinheiro para acesso ao topo;
- plataforma circunferencial no topo para acesso ao trilho / trole de pintura e ao turco.

2.46 Cada piloto de queimador deve ter um ignitor eletromagnético e um detector de chama do tipo "flame rod".

2.47 As soldas das chapas, pelo lado interno dos fornos, devem ser contínuas.

2.48 As tomadas de instrumentos e de amostras em chaminés devem ser inclinadas de modo que o condensado, eventualmente formado, seja automaticamente drenado para o interior das chaminés. Aumentar a espessura da tubulação no trecho junto à chaminé (cerca de 1.000 mm).

2.49 Devem ser previstos os seguintes sobressalentes para os fornos:

- 10% do número de cabeçotes instalados;
- 5% do número de curvas instaladas;
- 10% do número de tubos instalados, para cada diâmetro e tipo de material;
- 10% do número de queimadores instalados;
- 1 jogo completo de lanças;
- 50% das muflas utilizadas junto aos queimadores;
- 10% dos mangotes flexíveis;
- 50% dos bicos de óleo;
- 50% dos bicos de gás.

2.50 As janelas de inspeção devem permitir a execução de termografia nos tubos da radiação.

2.51 Cada serpentina do forno deve ser testada hidrosticamente de forma individual, e com isto, deve-se prever dreno e suspiro necessários.

2.52 As caixas das curvas devem ser removíveis, de forma a facilitar a inspeção e a soldagem de novas curvas em paradas do equipamento para manutenção.

2.53 A ligação entre a lança de óleo dos queimadores e as linhas de óleo combustível e vapor de atomização deve ser feita com tubos flexíveis. Deve também ser de tubo flexível, a ligação entre o anel de gás do queimador e a linha de gás.

2.54 O refratamento interno do queimador deve ser de bloco cerâmico, atendendo ao API Standard 560.

2.55 Os ramonadores ou sopradores de fuligem devem ser retráteis, seqüenciais, automáticos e comandados remotamente por SDCD.

2.56 A temperatura do topo da câmara de radiação deve ter intertravamento no SDCD, visando alarmar, registrar, controlar e cortar o combustível de alimentação, em situação de emergência.

2.57 Fornos que não possuam “plenum” de preaquecimento de ar de combustão devem ser equipados com abafadores de ruído.

2.58 O teste de fumaça para detecção de infiltrações de ar nos fornos, dutos e equipamentos periféricos e a correção dos eventuais problemas são obrigatórios antes de cada partida.

2.59 Os equipamentos abaixo devem ter um plano de manutenção elaborado pelo fabricante:

- queimadores, pilotos, ignitores e detectores de chama;
- analisadores, principalmente o de excesso de oxigênio;
- medidores de vazão de combustíveis e ar;
- preaquecedores de ar;
- sopradores de fuligem.

2.60 Prever filtros coalescedores para sistemas de gás combustível na entrada dos queimadores.