

Limpeza de novos sistemas de tubulações após montagem e antes da entrada em operação

Colaboração de Paulo Roberto Mazzarino da Petrobras

1. Introdução

Nas indústrias de processamento químico e óleo&gás e também em usinas de produção de energia, a limpeza interna de sistemas de tubulações, seguida de preservação da limpeza obtida, são etapas de destaque na montagem e instalação de uma unidade industrial, pois possibilitam minimizar ou eliminar os detritos e contaminantes presentes no interior da tubulação, que podem contaminar os fluidos do processo e ocasionar problemas em válvulas e máquinas.

São produtos residuais de fabricação e montagem do sistema que devem ser removidos antes da entrada em operação da unidade de processamento, tais como: carepas, depósitos de oxidação ou ferrugem, graxa, pontas de eletrodos, luvas de soldador, salpicos de solda, escórias, poeiras, rebarbas e outros corpos estranhos do interior das tubulações;

Há diversos métodos a serem utilizados para a limpeza de tubulações, dependendo do fluido operacional, do diâmetro da tubulação e de requisitos específicos de proteção contra contaminação, com o objetivo de remover depósitos e materiais estranhos deixados dentro das linhas durante a execução de trabalhos de montagem.

Neste trabalho são recomendados os métodos de limpeza de tubulações, após as etapas de fabricação e montagem, ou seja, tubulações que ainda não operaram.

Para a limpeza de tubulações que já operaram, ao pararem para os serviços de inspeção e manutenção, não necessariamente se utilizam os mesmos procedimentos aqui elencados.

O Proprietário da instalação industrial deve especificar os procedimentos de limpeza a utilizar nas tubulações, após parada, a fim de permitir a execução dos trabalhos de inspeção e manutenção de forma segura, para os executantes.

Ao fim dos serviços de manutenção, a limpeza das tubulações envolvidas deve ser realizada de acordo com as diretrizes deste trabalho

2. Definições

- Limpeza interna de tubulações

Atividade executada para remoção de materiais estranhos, incrustações e depósitos presentes no interior da tubulação, após o término da montagem e teste de pressão, que deve ser executada próximo à fase de pré-operação.

Nota:

Depois de terminada a montagem se deve fazer a limpeza interna completa em todas as tubulações.

- Preservação

Atividade executada para proteção contra a corrosão da superfície interna de equipamentos e sistemas de tubulações, evitando sua deterioração ou degradação, mantendo as características preservadas do item, durante o período em que permaneça desativado, desde a sua fabricação ou fornecimento, até o início da pré-operação.

Consiste nas ações de passivação, inertização com Nitrogênio, uso de inibidores de corrosão, lubrificação e outras formas de proteção, que garantam a manutenção da integridade das características físicas, metalúrgicas e mecânicas, do item a ser preservado, durante o período em que permaneça inoperante até o início da operação.,

A forma mais comum de preservação interna dos equipamentos e tubulações associadas, contra a corrosão, até a entrada em operação, é pela Inertização com Nitrogênio. Uma possível alternativa é a proteção com Inibidor Volátil de Corrosão VCI-*Volatile Corrosion Inhibitor*, que são produtos que ao volatilizar deixam uma camada protetora depositada sobre a superfície.

A preservação é executada logo após os processos de limpeza e secagem da tubulação.

- **Comissionamento de sistema operacional**

Conjunto de atividades que inclui limpeza, preservação, condicionamento, ajustes, verificação de funcionalidade, testes, preparação e simulado de operação, em equipamentos e tubulações, que visam a entrada em operação dos sistemas operacionais.

O objetivo é de atestar a conformidade entre as especificações do projeto e o executado, de forma a assegurar que cada componente do Sistema Operacional se encontra adequadamente fabricado, montado, instalado, identificado, interligado e intrinsecamente preparado para ser energizado e operar;

- **Condicionamento de sistema operacional**

Conjunto de atividades de verificação de funcionalidade e preparação para funcionamento aplicável a um determinado item, malha ou sistema, executadas “a frio”, isto é, não energizado, sem carga, sem o fluido de operação definitivo, ao final das etapas de construção e montagem, e integrado às atividade de comissionamento da instalação.

O objetivo é a preparação para funcionamento e obter a condição “pronto para energizar ou operar” do item ou sistema, se caracterizando por verificações, ajustes, confirmações.

- **Teste de Pressão Hidrostático**

Teste por meio de fluido incompressível, geralmente água, em pressão acima da pressão de projeto, com a finalidade de avaliar a resistência estrutural ou integridade do equipamento e/ou tubulação e de aliviar as tensões residuais da fabricação e montagem.

Nota:

Também há o teste de pressão pneumático, com ar, que é fluido compressível, levando ao risco de explosão, por isso só é executado em situações especiais, com procedimento específico e autorização expressa do Proprietário da instalação.

- **Purga:**

É a remoção do ar contido na tubulação, com o uso de um gás inerte, como o Nitrogênio, antes da introdução na tubulação de gás combustível e/ou inflamável, GLP-Gás Liquefeito de Petróleo e Gás Natural, para a **segurança da operação**.

3. Referências

- ✓ API Recommended Practice 686 - Recommended Practices for Machinery Installation and Installation Design
- ✓ Norma Petrobras N-115 - Fabricação e Montagem de Tubulações Metálicas
Obs.: Site de localização das Normas Técnicas públicas da Petrobras
<https://canalforneceador.petrobras.com.br/pt/regras-de-contratacao/>

4. Métodos de limpeza de tubulações de sistemas operacionais

As atividades de preparação para a entrada em operação de um sistema de tubulações, de novas instalações industriais, denominam-se comissionamento e condicionamento, e incluem a limpeza das tubulações, através dos seguintes métodos:

4.1. Limpeza mecânica

Limpeza manual, normalmente, executada em tubos de grande diâmetro interno (acima de diâmetro nominal de 30”) que permita o acesso e a execução de serviços por pessoas. Este método consiste basicamente em limpeza manual através do uso de escovas de fio duro e remoção de resíduos com esfregões, executada próximo à fase de pré-operação. Em situações particulares, a limpeza mecânica também pode ser feita em tubos de diâmetros menores, sem a presença de pessoal dentro, utilizando equipamentos apropriados como escovas rotativas, elétricas ou de acionamento por ar comprimido..

É uma limpeza pouco efetiva e praticamente não utilizada em indústrias química, de petróleo e gás, siderúrgicas e termoelétricas.

4.2. Limpeza ou lavagem com água

Procedimento para remoção com água, em circulação forçada, de materiais estranhos e depósitos presentes no interior de tubulação ou equipamento, após o término da montagem, e que deve ser executado próximo à fase de pré-operação.

Essa limpeza é geralmente feita pelo bombeamento contínuo de água até que a água descartada saia completamente limpa. Por precaução adicional, se deve colocar filtros provisórios de tela na entrada das bombas, compressores, medidores e outros equipamentos, para evitar a entrada de detritos.

A água empregada na limpeza deve ser doce, limpa, não poluída e não agressiva ao tubo e aos internos de válvulas.

Para tubulações de aços inoxidáveis deve ser exigido que a água não tenha concentração de cloretos acima de 50 ppm, com certificado de análise.

Sempre que necessário, devem ser adicionados à água inibidores de corrosão e bactericidas, levando-se em conta o local de descarte.

A limpeza é feita por fluxo de água, a uma velocidade de 2 a 3 m/s, durante um tempo suficiente para garantir limpeza do trecho de linha submetida à lavagem.

Este método é utilizado em sistemas em que o fluido seja compatível com o uso de água.

4.3. Limpeza com sopragem de ar comprimido seco

Método de limpeza que consiste na sopragem do sistema de tubulação com ar seco, em pressão suficiente para remover resíduos e água. É recomendado para linhas de ar de instrumentos e deve ser executado próximo à fase de pré-operação.

4.4. Limpeza química ou decapagem química

Método de limpeza especial, por meio da circulação de soluções especiais de detergentes, ácidos ou soda cáustica, conforme o material do tubo e o grau de limpeza desejado, aplicável a sistemas que necessitem ficar livres de resíduos de ferrugem, óleo e graxa, presentes no interior da tubulação ou equipamento, após o término da montagem, e que deve ser executada próximo à fase de pré-operação..

A solução química deve ser depois completamente removida por meio de água ou vapor d'água. Pode ser executado com produto alcalino ou ácido, desde que contemple um processo complementar de passivação após a aplicação, devendo as linhas, ao término do processo de limpeza, serem cheias e mantidas com gás inerte sob baixa pressão.

Nota:

Chama-se decapagem ao processo utilizado internamente em tubulações e equipamentos metálicos, que visa à remoção de oxidações e impurezas inorgânicas, como as carepas de laminação e recozimento, camadas de oxidação (ferrugem), crostas de fundição e incrustações superficiais.

É feita com a utilização de produtos químicos, em geral produtos ácidos como os ácidos sulfúrico e clorídrico, quando se trata de decapar aço carbono, em aço inoxidável não empregar ácido clorídrico.

4.5. Limpeza com sopragem de vapor ou *steam-out*

Procedimento para remoção, com sopragem de vapor d'água, de materiais estranhos e depósitos presentes no interior de tubulação ou equipamento, após o término da montagem, que deve ser executado próximo à fase de pré-operação, fazendo deslocamento com vapor a uma velocidade mínima de 30 m/s, durante um tempo suficiente para garantir limpeza do trecho de linha em sopragem.

No caso de circuitos de instalações de caldeira a vapor devem ser seguidas as recomendações da Norma API RP 686 e do item 8 deste trabalho.

Durante a realização dos serviços de sopragem se deve adotar medidas técnicas para limitar a emissão de ruídos do fluxo de vapor descartado ao máximo a 90 Decibéis, medidos num raio de 10 metros.

4.6. Limpeza com Pigs de limpeza interna

Método de limpeza que consiste na circulação forçada, através de pressão à montante, de Pigs de limpeza (dispositivos cilíndricos, de espuma ou material similar), que desliza pelo interior da tubulação, usados para remover da tubulação resíduos de água, ferrugem, depósitos e materiais estranhos e outras impurezas, executado próximo à fase de pré-operação. Quando necessário executar, posteriormente, secagem e inertização

4.7. Limpeza com óleo *Flushing*

Método de limpeza por circulação do próprio fluido do processo, em circuito fechado, utilizando filtros e circuitos temporários. É recomendado para sistemas que não possam ser contaminados com outros fluidos, tais como sistemas de lubrificação de máquinas ou sistemas de acionamento hidráulico. Executado próximo à fase de pré-operação.

Referência Universo do Petróleo

Um portal de notícias da indústria do petróleo

<https://www.universodopetroleo.com.br/2010/07/saiba-quis-sao-os-metodos-utilizados.html>

5. Meios de limpeza de novos sistemas de tubulações para entrada em operação

Há diversos métodos que podem ser utilizados para a execução da limpeza de tubulações e sua escolha depende do fluido operacional, do sistema envolvido, de requisitos específicos de proteção contra contaminação, do diâmetro da tubulação, dentre outros.

Para cada sistema de tubulações há o método mais conveniente de limpeza, que é definido no Plano de Limpeza de Tubulações, constante do projeto, de cada empresa.

Ao final da limpeza, o sistema de tubulações deve ser inspecionado, para verificar se a qualidade da execução da limpeza atende aos critérios determinados no Plano de Limpeza do projeto ou no procedimento elaborado pelo Executante, o que for o mais restritivo..

5.1. Para sistemas em geral, como tubulações de petróleo e seus derivados, exceto gás combustível e/ou inflamável, GLP-Gás Liquefeito de Petróleo e Gás Natural, e os produtos que não podem ser contaminados com água, como óleo diesel:

- ✓ Lavagem com água limpa (água industrial) seguida por sopragem com vapor d'água e um processo complementar de secagem e passivação..

5.2. Para sistemas com requisitos mais restritivos de limpeza como tubulações de vapor ou sucção de compressores:

- ✓ Lavagem química (decapagem) seguida de sopragem com vapor d'água, e um processo complementar de secagem e passivação.

5.3. Para sistemas com fluidos de baixa criticidade (não contendo fluido combustível e/ou inflamável, GLP-Gás Liquefeito de Petróleo e Gás Natural), geralmente água industrial:

- ✓ Sopragem com ar comprimido seco, geralmente de um compressor de campo com secadora de ar.

5.4. Limpeza sistemas de tubulação de caldeiras aquatubulares de vapor d'água:

As caldeiras aquatubulares operam com os seguintes equipamentos auxiliares:

- Economizador é um feixe tubular destinado ao pré-aquecimento da água de alimentação da caldeira, utilizando como fonte de calor os gases da combustão exaustos da caldeira;
 - Pré-aquecedor de ar também é um feixe tubular destinado a pré-aquecer o ar para a combustão, utilizando também como fonte de calor gases da combustão exaustos da caldeira;
 - Superaquecedor é também um feixe tubular destinado a transformar o vapor saturado em vapor superaquecido;
 - Lavadores de vapor são dispositivos destinados a eliminar gotículas de água arrastadas pelo vapor da caldeira;
 - Deaeradores são equipamentos destinados a remover gases como oxigênio, dióxido de carbono, nitrogênio, etc., com a finalidade de controlar o processo corrosivo no sistema.
 - Serpentinas das zonas de radiação e convecção são feixes tubulares que conduzem a água de alimentação da caldeira, que percorrem as zonas de radiação e convecção, gerando o vapor d'água.
- ✓ A limpeza destes equipamentos e das tubulações associadas, incluindo o sistema de água desmineralizada de alimentação da caldeira, costuma ser pelo método químico, usando-se substâncias ácidas e alcalinas e, em seguida, sopragem de vapor d'água.
- Limpeza química alcalina é utilizada em caldeiras novas, para remover graxas, óleos ou vernizes, aplicados durante o período de montagem, e depósitos pouco aderentes de óxidos de ferro, carepas de laminação, etc..
 - Limpeza química ácida tem como objetivo a remoção dos depósitos que não podem ser retirados pela limpeza alcalina.
Como os ácidos podem, após remover os depósitos, corroer os vários tipos de aço utilizados em caldeiras, é costume se adicionar inibidores de corrosão às soluções ácidas.
Para limpeza de tubos de aço inoxidável não se deve usar o ácido clorídrico, mesmo com inibidor.

Nota:

A água desmineralizada sofre um tratamento para remover todos os íons da água, utilizando-se resinas catiônicas (eliminam cálcio, magnésio, sódio e potássio) e aniônicas (eliminam cloretos, sulfatos, nitratos, bicarbonatos e silicatos).

Referência

Prevenção de corrosão em caldeiras

http://www.infobibos.com/Artigos/2011_2/Caldeiras/Index.htm

5.5. Limpeza de linhas de vapor d'água de baixa e média pressão e de condensado de vapor d'água:

- ✓ Lavagem com água industrial e posteriormente lavagem química para remoção de Óleo, Graxa e Óxido de Ferro, seguida de sopragem de vapor d'água.

5.6. Linhas de vapor de altíssima pressão (acima de 60 kgf/cm²):

- ✓ Limpeza por decapagem química seguida de sopragem com vapor d'água, com pressão de 40 kgf/cm², após a remoção de todas as válvulas e instalação de carretéis, instalando-se silenciador para controlar a emissão de ruído para o meio ambiente..
Em seguida, reinstalar as válvulas, providenciar a sopragem com vapor d'água de todo o sistema e inertizar com Nitrogênio para teste de estanqueidade.

5.6. Limpeza de linhas de água de refrigeração ou resfriamento de equipamentos:

- ✓ Lavagem com água industrial seguida de passivação química.

Nota:

A água de refrigeração, de circuitos de resfriamento de equipamentos, apresenta várias características que favorecem a oxidação de metais, ocasionando a corrosão de equipamentos e tubulações. Dessa forma, corrosão, incrustação (sais de cálcio, magnésio, óxidos de ferro e silicatos) e depósitos de microrganismos (algas, bactérias e fungos) sobre as superfícies metálicas são os três principais problemas que ocorrem em um sistema de água de resfriamento.

Para o controle dessa deterioração é executada a passivação da tubulação, que consiste na formação, internamente, de uma película ou um filme de óxido, aderido e impermeável, protetor da superfície metálica, pelo emprego dos inibidores passivos, solúveis em meio aquoso, conferindo redução da taxa de corrosão e dispersão das partículas que causam as incrustações, que são removidas durante as perdas de água por descartes periódicos.

A inibição da corrosão em aço com o emprego de inibidores passivos deve ser monitorada, pois abaixo de uma determinada concentração de inibidor este passa a atuar como um potencializador da corrosão localizada do tipo pite.

O tratamento de passivação consiste na circulação de uma combinação de inibidores de corrosão, antes de a tubulação entrar em operação, para a formação de filme protetor na superfície de aço carbono, de modo que a dosagem do inibidor de corrosão durante a operação do sistema tem apenas a função de regenerar a camada protetora formada, aumentando assim a efetividade do combate ao processo corrosivo.

5.7. Limpeza de sistemas de lubrificação de máquinas e sistemas de acionamento hidráulico.

Flushing

- ✓ Lavagem com o próprio fluido do processo, em circuito fechado, em sistemas que não admitem contaminação por outros fluidos.

5.8. Limpeza de sistemas de ar de instrumentos

- ✓ Lavagem com ar de instrumentos seco ou gás inerte, a limpeza com ar de serviço seco só deve ser usada apenas quando permitido pelo projeto.

5.9. Limpeza de sistemas de gás combustível e/ou inflamável, GLP e gás natural

- ✓ Lavagem com vapor d'água seguida de purga com gás inerte, como Nitrogênio, para remover possíveis misturas explosivas de ar e combustível e/ou inflamável. Se gás combustível e/ou inflamável, GLP ou gás natural for enviado para uma tubulação contendo ar, há o risco de haver um local na tubulação que apresente uma mistura inflamável.

Nota:

As linhas de gás combustível e/ou inflamável, GLP e gás natural requerem obrigatoriamente uma etapa de secagem. Para outros serviços, a necessidade de secagem deve ser verificada conforme projeto.

5.10. Limpeza de sistema de água potável

- ✓ Lavagem com água industrial seguida de desinfecção feita com uma solução de água com no mínimo 50 mg/litro de Cloro, durante pelo menos 3 horas. A desinfecção deve ser repetida até que a análise bacteriológica não acuse mais qualquer tipo de contaminação.

6. Procedimentos de limpeza de tubulações

Referência: Norma Petrobras N-115 - Fabricação e Montagem de Tubulações Metálicas

6.1. Geral

A limpeza interna deve ser realizada após a tubulação estar totalmente liberada dos ENDs- Ensaio Não-Destrutivo de fabricação e montagem e após a execução do teste de pressão da tubulação.

Antes da limpeza da tubulação, deve ser elaborada uma APR-Análise Preliminar de Risco, considerando a captação do fluido, o descarte para o ambiente e o plano de contingência para o caso de falha ou acidentes.

Após a definição do método de limpeza a ser empregado para cada tubulação, se deve identificar no P&ID-Fluxograma de Tubulação e Instrumentação *Piping and Instrumentation Diagram or Drawing* pertinente as válvulas que devem estar abertas e fechadas e os instrumentos e acessórios a serem removidos.

Listar também os recursos auxiliares a serem disponibilizados, durante a operação de limpeza. A limpeza das tubulações deve ser executada de acordo com o Plano de Limpeza de Tubulações, previsto no projeto, ou., na falta deste, conforme o Procedimento de Limpeza especificado pelo Executante, e aprovada pelo Proprietário da instalação, que atenda, pelo menos, às seguintes recomendações gerais:

- a) Especificação Técnica do método de limpeza, contemplando fluido a empregar, forma de obtenção do fluido, grau de pureza do fluido, produtos químicos necessários, condições de execução da limpeza (temperatura, pressão, velocidade, tempo estimado, etc.), equipamentos auxiliares, parâmetros de controle da qualidade da limpeza, e outras informações necessárias ao serviço;
- b) A limpeza das linhas deve ser executada, de preferência, por conjunto ou sistema de tubulações, visando a remoção de depósitos de ferrugem, pontas de eletrodos, salpicos de solda, escórias, poeiras, rebarbas e outros corpos estranhos do interior das tubulações;
- c) O sistema de limpeza deve incluir todos os trechos internos da tubulação, inclusive locais onde existam drenos e suspiros e extremidades fechadas com flange cego ou tampão;
- d) A limpeza interna pode ser realizada pelos seguintes métodos água, ar comprimido seco, vapor d'água, Nitrogênio, produtos químicos (tais como solução de detergentes, ácidos inibidos e soluções alcalinas), ou com óleo, incluindo ou não dispositivos tipo "Pig", conforme especificado no projeto ou conforme o procedimento do Executante;
- e) Antes do início da limpeza, se deve verificar se foram removidos os seguintes equipamentos e acessórios:
 - purgadores de ar e vapor;
 - raquetes e figuras 8;
 - válvulas de controle;
 - instrumentos;
 - discos de ruptura;
 - válvulas de segurança e de alívio;
 - válvulas de sede resiliente;
 - todos os componentes que causem restrições ao fluxo como, por exemplo, placas e flanges de orifício;
- f) Todos os acessórios que forem removidos devem ser limpos em separado e, quando necessário, substituídos por carretéis;
- g) Os suspiros e drenos das tubulações devem ser abertos;
- h) Verificar se existem pontos baixos, não drenáveis, e pontos altos sem alívio no sistema;
- i) As válvulas devem ficar totalmente abertas;
- j) As válvulas de retenção, quando o suprimento de fluido de limpeza for à jusante das mesmas, devem ser retiradas ou travadas na posição aberta;
- k) As tubulações de sucção de compressores, as tubulações de alimentação de vapor d'água ou gás de turbina e respectivos sistemas de lubrificação devem ter toda sua superfície interna limpa por processo químico até o metal branco;
- l) Prever a instalação de linhas provisórias para atender ao abastecimento e drenagem do fluido de limpeza, para local controlado (descarte ambiental), na execução da limpeza das tubulações e equipamentos;

- m) Antes de iniciar a limpeza se deve verificar a compatibilidade dos materiais de fabricação, de revestimentos internos da tubulação e de internos de válvulas com o processo a ser utilizado;
- n) As válvulas só podem ser acionadas após a conclusão da limpeza da linha;
- o) Algumas válvulas, consideradas essenciais à operação, podem ser retiradas para verificação da possível existência de detritos depositados em suas sedes, decorrentes do arraste durante a limpeza das linhas;
- p) O primeiro acionamento deve ser realizado cuidadosamente, com o objetivo de detectar a existência de possíveis detritos na sede da válvula;
- q) Todos os equipamentos e acessórios, removidos para a limpeza das tubulações, devem ser remontados em suas posições corretas, após limpos, ao fim da limpeza da tubulação;
- r) Incluir as ações de preservação (proteção contra corrosão) das superfícies limpas, quando necessário;
- s) O procedimento de limpeza deve mencionar os cuidados com relação ao descarte para o meio ambiente do fluido e produtos envolvidos na limpeza;
- t) O procedimento de limpeza deve estabelecer um critério eficaz para se decidir pela conclusão da limpeza na qualidade requerida;
- u) Prever a instalação de filtros provisórios ou temporários na entrada de vasos, reatores, torres, permutadores de calor, compressores, turbinas, bombas, misturadores e outros equipamentos que possam ser prejudicados por detritos arrastados durante a limpeza. Estes filtros devem estar instalados no sistema durante o teste de pressão, limpeza, pré-operação e serem removidos ao início da operação.
- v) Prever, quando aplicável, procedimento de secagem e inertização;
- w) Verificar a necessidade de instalar corpos-de-prova para controle de corrosão e erosão, durante a limpeza.
- x) Nos casos em que não seja admitida qualquer contaminação pelo fluido de limpeza, devem ser instalados dispositivos de isolamento, considerando os limites dos subsistemas na entrada e saída dos equipamentos.
- y) As válvulas de segurança, de alívio de pressão, de controle e os discos de ruptura, devidamente calibrados, conforme seus respectivos certificados, somente devem ser instaladas definitivamente após a limpeza da tubulação, sendo substituídos por carretéis, flanges cegos ou peças de inserção durante a limpeza.
- z) Os purgadores e válvulas de retenção devem ser remontados obedecendo ao sentido do fluxo e após a limpeza das tubulações.
- aa) O sistema de tubulações deve ser inspecionado para verificar se a execução da limpeza está de acordo com a qualidade prevista no Plano ou Procedimento de Limpeza empregado.
- bb) A limpeza somente é considerada terminada, quando o grau de limpeza exigido, pelo produto de operação, for atingido, incluindo o fim das atividades de secagem e preservação, quando requeridas.
- cc) Após a limpeza ter sido aprovada, remover os dispositivos auxiliares, proceder à remontagem dos equipamentos e acessórios removidos antes da limpeza e destravar os suportes de mola e as juntas de expansão, para o início da operação.

6.2. Limpeza com Água

- a) Antes da limpeza com água deve ser verificado se este procedimento é permitido nos documentos de projeto;
- b) Antes da limpeza com água deve ser verificado, no projeto, se as tubulações podem ser cheias com água e, caso permitido, se é necessário a construção de suportes provisórios que devem ser construídos e montados nos locais indicados;
- c) Em tubulações de aço inoxidável é permitida limpeza com água, desde que o teor de halogenetos seja controlado, com concentração máxima de 50 ppm a 25 °C;

- d) Os suportes de mola devem estar travados durante a limpeza;
- e) Verificar se os pontos de saída de água de lavagem não causam danos ao isolamento térmico e/ou prejuízo à execução de outros trabalhos.

6.3. Limpeza com Vapor d'água

- a) Antes da limpeza com vapor d'água deve ser verificado se este procedimento é permitido nos documentos de projeto;
- b) Os dispositivos provisórios de limpeza com vapor devem ter flexibilidade e classe de pressão compatíveis com as condições de serviço e atender ao código de projeto aplicável;
- c) Antes da limpeza com vapor, o sistema deve ser lavado com água, conforme descrito no item 6.2, deste trabalho;
- d) As válvulas e acessórios que contêm elementos de vedação resilientes devem ser removidas dos sistemas, exceto quando a temperatura do vapor for inferior a 180 °C;
- e) Retirar as travas dos suportes de mola, verificar e registrar a sua posição a frio;
- f) Retirar o travamento das juntas de expansão;
- g) Verificar se foram instalados silenciadores;
- h) Em instalações de caldeira a vapor com turbina devem ser seguidas as recomendações da Norma API RP 686 e do item 8 deste trabalho.
- i) Verificar se foram instaladas as placas alvos, de controle da qualidade da limpeza, de acordo com a Norma API RP 686;
- j) A sopragem deve ser executada no sentido do fluxo, com vazão mínima igual à de operação, iniciando pelo tronco e depois pelos ramais;
- k) Verificar nos pontos de dilatação máxima da linha se não está ocorrendo interferências com outras linhas e perda de suportação;
- l) Após a remontagem dos equipamentos e acessórios removidos antes da lavagem, a tubulação deve ser pressurizada com vapor d'água e verificado o funcionamento individual de cada purgador;
- m) Quando requerido, a tubulação, após a limpeza, deve ser mantida com Nitrogênio ou água desmineralizada; neste último caso, travar os suportes de mola.

6.4. Limpeza Química

- a) Para execução da limpeza química deve ser verificado se este procedimento é permitido nos documentos de projeto;
- b) Antes da limpeza química a tubulação deve ser lavada com água conforme descrito no item 6.2, deste trabalho;
- c) Efetuar estudo preliminar das características do processo, visando a elaboração do procedimento de limpeza, abrangendo, além das recomendações gerais descritas no item 6.1, deste trabalho, os seguintes itens adicionais:
 - identificação, no campo, das tubulações a serem limpas e já assinaladas nos fluxogramas;
 - identificação dos tipos de depósitos a serem removidos;
 - definição da finalidade da limpeza em função das características operacionais;
 - identificação da especificação de material da tubulação;
 - definição do método de limpeza (imersão, circulação térmica ou mecânica e fase vapor);
 - definição dos pontos de injeção, drenagem e suspiro;
 - definição de controle das características da qualidade final das superfícies após limpeza;
 - definição dos dispositivos auxiliares de limpeza a serem fabricados (tais como conexões e carretéis);

- definição da compatibilidade entre os materiais e soluções químicas de limpeza e o material de construção do sistema de tubulação;
 - definição dos pontos de inspeção, para possibilitar análise do grau de eficiência da remoção ao longo e ao final do processo;
 - definição dos locais de descarte, prevendo neutralização e destino;
 - definição dos acessórios a serem removidos, devido à incompatibilidade metalúrgica com as soluções químicas de limpeza;
 - definição dos locais de armazenamento dos produtos químicos a serem utilizados;
 - estudo da compatibilidade entre as velocidades de circulação nos vários pontos da tubulação, com a possibilidade de erosão localizada e a eficiência do inibidor de corrosão;
 - cuidados necessários para o manuseio, transporte e descarte dos produtos químicos, visando a preservação da saúde, da segurança e do meio ambiente;
 - verificar se existem pontos baixos, não drenáveis, e pontos altos sem alívio no sistema;
 - efetuar APR-Análise Preliminar de Risco;
 - definir, sempre que possível pontos de retirada de amostra do fluido de limpeza da tubulação, para verificação da eficácia da limpeza;
- d) Nas soluções ácidas é obrigatória a substituição da solução quando o teor de íons de Ferro for superior a 0,4 %;
- e) Efetuar o acompanhamento da concentração da solução ácida, de modo a verificar se é o momento de concluir a fase ácida ou de renovar a solução.

6.5. Limpeza com Óleo - *Flushing*

- a) Antes da limpeza com óleo, deve ser verificado se este procedimento é indicado nos documentos de projeto;
- b) O Executante deve informar sobre a substância a empregar a especificação físico-química do óleo, a densidade, a viscosidade e a compatibilidade com o fluido de operação e com o material de construção da tubulação;
- c) Em tubulações onde é exigida limpeza com óleo devem ser instalados filtros, em locais previamente selecionados, antes do início dos serviços, visando recolher os detritos do interior da linha e permitir análise do grau de eficiência da remoção ao longo e ao final do processo;
- d) A graduação da tela deve ser selecionada em função das características dos equipamentos ligados às tubulações;
- e) Para este caso específico, o procedimento de limpeza deve considerar a tubulação limpa quando o óleo estiver dentro dos parâmetros de impureza aceitáveis, pelo fabricante do equipamento, ou, se estes parâmetros não estiverem disponíveis, quando não for detectada presença de impurezas depositadas no filtro, após circulação do óleo, por um período mínimo de 6 horas, a uma velocidade mínima de 3 m/s.

6.6. Limpeza com ar comprimido

Nos casos especiais de tubulações em que, a limpeza poderia ser com água, mas devido ao material ou ao serviço, a presença ou vestígios de água não possam ser permitidos, a limpeza pode ser feita com ar comprimido, excetuando as tubulações de fluidos combustíveis e/ou inflamáveis..

6.7. Limpeza por Pig

Aplicável à tubulação de líquido ou gás, substituindo os procedimentos de limpeza com água.

7. Secagem após limpeza

7.1. Após a aceitação da limpeza, deve ser realizado o esvaziamento da tubulação, mantendo-se abertos os drenos e os suspiros. Válvulas e equipamentos, sujeitos à acumulação de líquidos, devem ser tratados adequadamente, para verificar possíveis depósitos de detritos.

O esvaziamento com a passagem de Pigs espuma deve ser empregada em caso de trechos longos e de linhas de gases combustíveis e/ou inflamáveis, GLP e gás natural.

Após o esvaziamento da tubulação, providenciar a secagem e a inertização, quando forem especificados no projeto ou no procedimento do Executante da limpeza.

Nota:

Pigs de espuma são cilindros ou tarugos leves e de alta flexibilidade para utilização na limpeza em tubulações industriais e de saneamento. São fabricados com espuma de poliuretano de células abertas de alta resistência. A função principal dos Pigs da espuma é melhorar a eficiência de uma tubulação, por isso, são utilizados nas seguintes aplicações principais, conforme requerido no procedimento de limpeza:

- a. Limpeza interna de tubulações;
- b. Remoção da água ao final de teste de pressão hidrostático;
- c. Secagem de tubulações após limpeza.

7.2. A secagem interna da tubulação deve ser iniciada após o esvaziamento da tubulação e monitorada via acompanhamento do ponto de orvalho, do fluido usado para a secagem, em pontos previamente definidos no projeto ou no procedimento empregado. A secagem deve ser considerada concluída quando o ponto de orvalho medido for igual ou inferior ao estabelecido no projeto ou especificado para o fluido da linha no procedimento de secagem; o que for menor.

7.3. O problema com o uso de água é que ela deixa a tubulação molhada internamente, isso traz inconvenientes em potencial, primeiro a corrosão da tubulação pode ser acelerada e, segundo, o próprio processo pode exigir que a tubulação esteja totalmente seca .

Portanto, é prática comum que a tubulação seja seca após a limpeza, antes de ser colocada em operação.

As linhas devem ser secas, normalmente, com a passagem de ar comprimido seco e quente ou Nitrogênio, antes da entrada em operação, sempre que a possibilidade de água retida no sistema possa comprometer a qualidade do produto ou a integridade da tubulação e dos equipamentos associados.

7.4. Os métodos de secagem da tubulação incorporam o uso de um higrômetro, para controle de ponto de orvalho do fluido empregado na secagem.

Notas:

1. Higrômetro é um instrumento que serve para medir a umidade presente nos gases, particularmente no ar..
2. Ponto de orvalho é a temperatura até a qual um gás, em particular o ar, deve ser resfriado para que o vapor de água presente condense na forma de orvalho. Em qualquer temperatura há uma quantidade máxima de vapor d'água que um gás ou ar consegue manter..

Os métodos de secagem mais comuns são

- Secagem com ar comprimido quente e seco

A tubulação é alimentada em uma extremidade com suprimento de ar seco aquecido de um compressor de ar.

A energia térmica é absorvida pela água na tubulação, o que acelera a evaporação.

O vapor de água é transportado pelo fluxo de ar quente ao longo da tubulação até à saída, localizada na extremidade oposta à entrada de ar quente.

Um higrômetro localizado à saída indica a conclusão do processo de secagem e a tubulação está seca, quando o ponto de orvalho do ar medido na saída é igual ou menor ao do ar de alimentação do compressor, ou outro valor especificado pelo Executante, o que for menor.

Nota:

As temperaturas de ponto de orvalho encontradas no ar comprimido ficam entre a temperatura ambiente e -80°C, em casos especiais.

Sistemas de compressão sem recursos de secagem do ar tendem a produzir ar comprimido que é saturado à temperatura ambiente.

Sistemas com secadores por refrigeração passam o ar comprimido por um trocador de calor, fazendo com que a água condense fora da corrente de ar. Esses sistemas normalmente produzem ar com ponto de orvalho de no máximo 5°C.

Sistemas de secagem por dessecante absorvem o vapor de água da corrente de ar e podem produzir ar com ponto de orvalho de -40°C ou mais seco, caso necessário.

- **Secagem com purga de Nitrogênio**

Em vez de usar ar quente, um gás de purga inerte, como Nitrogênio, pode ser usado.

As vantagens do uso de Nitrogênio são que ele está muito seco e, portanto, tem uma alta capacidade de adsorção de água, e também que é inerte e pode ser usado para inertizar a tubulação, que posteriormente pode conter fluidos combustíveis ou inflamáveis.

O procedimento a ser usado é similar ao da secagem com ar quente, acompanhando-se com higrômetro o ponto de orvalho do gás de saída, que determina se a tubulação está completamente seca, quando o valor do ponto de orvalho medido na saída for igual ou menor que o estabelecido no projeto ou pelo procedimento do Executante.

7.5. Durante a secagem, devem ser feitas medições até que o ponto de orvalho se aproxime assintoticamente da temperatura de ponto de orvalho estabelecido no projeto ou especificado para o fluido da linha, o que for menor, quando então a secagem com ar seco ou Nitrogênio deve ser interrompida. Depois de concluída esta etapa, deve ser realizada uma nova medição, após período definido em procedimento ou no projeto, a fim de verificar se houve estabilização do ponto de orvalho no valor especificado. Para linhas de gás combustível e/ou inflamável, GLP e gás natural, o período entre medições deve ser de pelo menos 24 horas.

7.6. Caso o ponto de orvalho não se estabilize após este período, fazer novas medições, considerando o mesmo período de tempo, até que o ponto de orvalho apresentar valor inferior ao especificado e ocorra a estabilização. Se o ponto de orvalho se elevar acima do valor especificado, refazer o processo de secagem.

7.7. Após a estabilização do ponto de orvalho, o sistema deve ser inertizado com gás inerte compatível com o fluido para aguardar a pré-operação. Caso a pré-operação não ocorra imediatamente após a inertização, novas medições de ponto de orvalho devem ser executadas antes do início da operação.

7.8. O ponto de orvalho deve ser medido na pressão atmosférica, utilizando um medidor eletrônico, com faixa de medição compatível com o ponto de orvalho do fluido utilizado na secagem e provido de certificado de calibração emitido pelo fabricante.

7.9. Secagem de tubulações de gás combustível e/ou inflamável, GLP e gás natural

Um caso particular é a secagem e a inertização de sistemas de tubulação, processando ou transportando gás combustível e/ou inflamável, GLP e gás natural, que são obrigatórias após o esvaziamento.

A secagem de tubulações de gás combustível e/ou inflamável, GLP e gás natural deve ser feita com o emprego de Nitrogênio (ponto de orvalho igual ou inferior a -60°C) até que o ponto de orvalho medido seja igual ou inferior a -39 °C, e mantido até a pré-operação.

8. Limpeza de linhas de circuito de vapor d'água de caldeira, incluindo a turbina

8.1. Geral

Uma limpeza muito importante é a limpeza dos circuitos de caldeiras de vapor, particularmente quando incorporam o acionamento de turbina a vapor.

A operação segura da planta de energia termoelétrica depende da confiabilidade de todos os equipamentos e componentes, incluindo as tubulações da caldeira e da turbina.

A limpeza desses sistemas é normalmente realizada com sopragem ou sopro de vapor d'água *steam blowing*.

Essa limpeza é necessária pois, durante a operação contínua, em carga nominal ou máxima, da turbina, a força de arrasto do vapor na tubulação pode desalojar partículas aderidas à superfície interna dos tubos, causando grandes danos às pás e ao rotor da turbina.

A execução do sopro de vapor visa limpar todos os detritos nas serpentinas das zonas de radiação e convecção, nos equipamentos: economizador, superaquecedor e reaquadador, e também na tubulação de vapor que conecta a turbina.

Para realizar a limpeza de forma eficaz, a meta é a criação de uma força de arrasto na superfície interna dos tubos que é muito maior do que a que ocorre durante a operação, na carga nominal ou máxima do turbina.

A limpeza utilizando o método do sopro a vapor é uma das etapas iniciais da operação da planta, após fabricação e montagem.

Neste método é criada uma grande força de arrasto na superfície interna da tubulação para remover e capturar detritos e incrustações existentes na superfície interna.

Há dois tipos de sopro a vapor

- o método de sopro com variação de pressão e
- o método de sopro com baixa pressão uniforme e contínua.

Antes do sopro de vapor se deve executar as seguintes providências:

- Teste hidrostático completo dos equipamentos e tubulações do sistema de geração do vapor d'água;
- Limpeza química completa do sistema para garantir que a tubulação esteja pronta para operação;
- Certificar-se de que todas as peças, componentes e tubulações do sistema estão devidamente preparados, com as linhas provisórias instaladas, para o sopro de vapor.

8.2. Sopro de vapor para limpeza de tubulação de entrada da turbina

O sopro a vapor é uma operação perigosa e complexa, deve ser supervisionada por profissionais com experiência em tais procedimentos, devido à necessidade de atingir as velocidades sônicas necessárias para a limpeza.

É parte integrante do procedimento de comissionamento da planta e é eficaz na remoção de entulhos da montagem, escórias de solda, areia, óleo, poeira, ferrugem e incrustações de sistemas críticos. antes da partida *start-up* da planta.

Essas substâncias, formadas durante as fases de laminação, fabricação ou durante a construção da planta, podem causar sérios danos aos equipamentos acionados por esta tubulação, como turbinas a vapor, e graves problemas durante as fases preliminares de funcionamento da usina. Essa atividade, sopro a vapor d'água, é estritamente necessária, para limpeza desses sistemas antes da operação, para remoção dessas impurezas e sujeiras, que podem afetar a integridade das turbinas e funcionamento das válvulas e instrumentos.

Há uma quantidade grande de tubulações temporárias a ser projetada e instalada por profissionais competentes, para direcionar o vapor da planta para a tubulação de entrada da turbina e o vapor emergente para uma área de descarte segura.

A tubulação de entrada de vapor para a turbina deve ser projetada de forma que o sopro de vapor seja possível em cada ramal, sem grande desmontagem ou acesso difícil.

Todo o detalhamento das tubulações auxiliares, de entrada e saída de sopro de vapor, incluindo os suportes, drenos de condensado, pontos de amostragem, desvios ou *by-passes* devem ser incluídos no projeto de engenharia da planta.

Para o comissionamento, a técnica de sopro contínuo de vapor de baixa pressão se tornou uma prática padrão para limpar os circuitos de sistemas de vapor, particularmente, a tubulação de entrada de turbina a vapor..

O sopro com vapor d'água é uma operação de limpeza que usa a energia e a velocidade do vapor para remover impurezas de partes de caldeiras, turbinas e tubulações. Além disso, os choques térmicos, por diferenças de temperaturas durante o sopro de vapor, removem as incrustações, devido à expansão e contração dos componentes.

O objetivo de lavagem com sopro de vapor é remover o material estranho da tubulação de condução de vapor para a turbina.

As partículas transportadas pelo vapor, ao entrarem na turbina danificam a válvula reguladora, o bocal de entrada e as pás ou palhetas da roda da turbina.

A verificação da qualidade da limpeza é feita através do vapor d'água emergente, impactando em uma placa de metal de aço inoxidável polida, comumente conhecida como alvo ou placa alvo, em busca das partículas arrastadas.

Durante os ciclos de sopro a vapor, placas preparadas, de aço inoxidável polido, chamadas "placas alvo", são colocadas no sistema de tubulação temporário, na entrada e/ou na saída da turbina, sobre o qual a contaminação liberada atinge.

O resultado do sopro de vapor deve ser verificado por meio do impacto na placa alvo, fixada à tubulação de entrada ou saída do vapor de sopragem.

O sopro de vapor acarreta que vapor quente seja descartada ao redor da área aberta, em que está instalada a turbina. As partículas serão descarregadas para o ambiente em altas velocidades, exigindo que a área seja desobstruída de pessoas e objetos. O sopro de vapor geralmente causa um aumento nos níveis de ruído locais e instruções adequadas para proteção auditiva contra ruídos devem ser fornecidas.

Referências para o Procedimento de lavagem de tubulações de turbinas com vapor d'água

- 1. API RECOMMENDED PRACTICE 686 - Recommended Practices for Machinery Installation and Installation Design - Annex B - Steam Blowing Procedure**
- 2. WHAT IS PIPING**
Blog for piping engineers
Steam Blowing / Steam Blowing Procedure
<https://whatispiping.com/steam-blowing-part-1/>
- 3. Boiler Pipelines Steam Blowing Procedure: Why and How**
<https://www.brighthubengineering.com/power-plants/71650-steam-blowing-of-power-station-pipelines-why-and-how/>