

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA MECÂNICA

VINÍCIUS GERALDO DOI

**PROCEDIMENTOS PARA MANUTENÇÃO DE UM TROCADOR DE CALOR DO
TIPO CASCO E TUBO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2015

VINÍCIUS GERALDO DOI

**PROCEDIMENTOS PARA MANUTENÇÃO DE UM TROCADOR DE CALOR DO
TIPO CASCO E TUBO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Lourenço

CORNÉLIO PROCÓPIO
2015

Dedico este trabalho à meus pais, meus irmãos e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Lourenço, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus irmãos pela paciência e apoio.

Aos meus colegas de sala.

A Raízen por me fornecer o estagio.

Aos Engenheiros, supervisores e mecânicos pelo aprendizado.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Não se coloque dentro de uma forma, se adapte e construa sua própria, e deixa-a expandir, como a água. Se colocarmos a água num copo, ela se torna o copo; se você colocar água numa garrafa ela se torna a garrafa. A água pode fluir ou pode colidir. Seja água, meu amigo.
Bruce Lee

RESUMO

DOI, Vinícius G. **PROCEDIMENTOS PARA MANUTENÇÃO DE UM TROCADOR DE CALOR DO TIPO CASCO E TUBO**. 2015. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

A manutenção até recentemente era considerada como fator de custos e gastos. No passado, os aspectos mais conhecidos da manutenção caracterizavam-se como sendo de serviços repetitivos e de rotina, pura troca de peças, pouca técnica, improvisações e emergências. Contudo devido a sua elevada influência no “down time”, parada de máquinas, durante a produção, por causas gerenciais e técnicas, vem sendo vista com novos olhos, sendo considerado fator de qualidade e produtividade, enfim de competitividade. Os trocadores como tem uma grande importância em usinas para troca térmica tem que ser feito manutenções preventivamente e preditivamente, para que não haja uma redução em parada de máquina, pois pode afetar todo o processo, resultando em atraso de entregas ou má qualidade do produto final, diminuindo assim sua competitividade.

Palavras-chave: Manutenção. Trocador de calor. Casco e tubo. Manual.

ABSTRACT

DOI, Vinícius G. **PROCEDURES FOR MAINTENANCE OF A HEAT EXCHANGER SHELL AND TUBE TYPE.**2015. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

Maintaining until recently was considered as a factor in costs and expenses. In the past, the best known aspects of maintenance were characterized as repetitive and routine services, pure spare parts, little technique, improvisation and emergencies. However due to its high impact on the "down time", machine stop during production, for managerial and technical causes, has been seen with new eyes, and is considered factor of quality and productivity, short of competitiveness. The exchangers as is very important in plants for heat transfer has to be done proactively and predictively maintenance, so that there is no reduction in machine stops, it may affect the whole process, resulting in delayed delivery or poor quality of the final product thus reducing their competitiveness.

Keywords: Maintenance. Heat exchanger. Shell and tube. Manual.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMA P-H DE MOLLIER.....	20
FIGURA 2 – COMPONENTES BASICOS DE UM TROCADOR DE CALOR DO TIPO CASCO E TUBO.....	22
FIGURA 3 – COMPONENTES DETALHADOS DE UM TROCADOR DE CALOR DO TIPO CASCO E TUBO.....	23
FIGURA 4 – TIPO DE DEFLETORES.....	24
FIGURA 5 – CARACTERIZAÇÃO DO TROCADOR: CASCO E CABEÇOTES(TEMA).....	25
FIGURA 6 – APERTO DE FLANGES.....	35
FIGURA 7 – TIPO DE JUNTAS.....	37
FIGURA 8 – JUNTAS FABRICADAS EM UMA SÓ PEÇA.....	38
FIGURA 9 – FIXAÇÃO DE TRAVESSAS.....	39
FIGURA 10 – CAUDA DE ANDORINHA.....	40
FIGURA 11 – CHANFRADA.....	41
FIGURA 12 – TUBO ANTES DA EXPANSÃO.....	44
FIGURA 13 – TUBO EXPANDIDO.....	44
FIGURA 14 – ILUSTRAÇÃO DE COMO TOMAR MEDIDAS INTERNAS DO TUBO.....	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ESPECIFICAÇÃO DOS RAQUETES.....	29
TABELA 2 – ESPECIFICAÇÃO DE FLANGES 150 LIBRAS.....	31
TABELA 3 – ESPECIFICAÇÃO DE FLANGES 150 LIBRAS.....	32
TABELA 4 – ESPECIFICAÇÃO DE JUNTAS.....	33
TABELA 5 – RAIOS DE CONCORDÂNCIA.....	38

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
TEMA	The Tubular Exchanger Manufacturers Association

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	14
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 HISTORIA DA MANUTENÇÃO.....	15
3.2 CONCEITOS DE MANUTENÇÃO	17
3.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA	18
3.4 MANUTENÇÃO PREVENTIVA	21
3.5 MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	22
3.6 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL(TPM).....	22
3.7 TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	26
3.8 REFRIGERAÇÃO.....	26
3.9 TROCADOR DE CALOR.....	27
3.10 TROCADOR DE CALOR TIPO CASCO E TUBO.....	28
4.MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 COMPONENTES TROCADOR DE CALOR TIPO CASCO E TUBO.....	30
4.2 PRINCIAIS MANUTENÇÕES REALIZADAS EM TROCADORES DE CALOR TIPO CASCO E TUBO.....	35
4.2.1 RAQUETEAMENTO E DESRAQUETEAMENTO.....	36
4.2.1.1 ESPECIFICAÇÃO DE RAQUETES.....	36
4.2.1.2 INSTALAÇÃO DE RAQUETES.....	37
4.2.1.3 JUNTAS PROVISÓRIAS E DEFINITIVAS DE LINHA.....	38
4.2.1.4 ESPECIFICAÇÃO DE PARAFUSO.....	41
4.2.1.5 APERTO DE FLANGES.....	42
4.2.2 TROCA DE JUNTAS.....	43

4.2.2.1 TIPO DE JUNTAS.....	45
4.2.2.1.1 JUNTAS FABRICADAS EM UMA SÓ PEÇA.....	46
4.2.2.1.2 JUNTAS COM TRAVESSAS SOLDADAS.....	47
4.2.2.1.3 JUNTAS DE GRANDE DIÂMETRO.....	48
4.2.2.1.3.1 CAUDA DE ANDORINHA.....	48
4.2.2.1.3.2 CHANFRADA.....	49
4.2.2.2 ESPESSURA DE JUNTAS.....	49
4.2.3 LIMPEZA POR HIDROJATEAMENTO.....	50
4.2.4 REMANDRILAMENTO.....	50
4.2.4.1 ALONGAMENTO DOS TUBOS.....	53
4.2.4.2 CONTROLE DE EXPANSÃO.....	53
4.2.4.3 OPERAÇÃO DE MANDRILAMENTO.....	54
4.2.4.3.1 TORQUE.....	54
4.2.4.3.2 LUBRIFICAÇÃO DO EXPANSOR.....	54
4.2.4.4 SEQUENCIA DE MANDRILAMENTO.....	55
5.CONCLUSÕES.....	56
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

1. INTRODUÇÃO

Os últimos 25 anos tem se caracterizado pela globalização da economia, com a queda frequente de barreiras econômicas e comerciais. Dessa forma, a busca pela qualidade total de serviços e produtos, assim como a crescente preocupação com os aspectos ambientais e financeiros, passou a ser reavaliados continuamente nas empresas. Sendo assim, a grande questão que vem tomando corpo nas organizações é definir o papel da manutenção no contexto da competitividade das organizações do mercado em que atuam.

A manutenção, direta ou indiretamente, faz parte desse contexto, principalmente porque não se permite mais a existência de uma organização competitiva sem que nesta, sejam otimizadas: a disponibilidade de máquinas, a maximização da lucratividade, a satisfação dos clientes e a confiabilidade dos produtos, o que se traduz como conceito dos seis sigmas (ou defeito zero).

Máquinas se desgastam com o tempo, peças sofrem desajustes periódicos. Além disso, máquinas não são como objetos idealizados que ficam livres de cargas dinâmicas. Se não houver um bom programa de manutenção, os prejuízos serão inevitáveis, pois máquinas com defeitos ou quebradas são a causa principal da diminuição ou interrupção da produção, o que gera atrasos das entregas e perdas financeiras. Além disso, se as máquinas não operam de forma ajustada, aumentam os custos de produção, pois gastam mais energia e recursos para realizar uma mesma tarefa e os produtos têm grandes possibilidades de apresentar defeito de fabricação.

A junção desses fatores gera a insatisfação dos clientes e a conseqüente perda de mercado, as quais, em situações extremas, podem levar à empresa a falência.

Sendo assim, para evitar esse fim desastroso, é condição obrigatória estabelecer e manter um rigoroso programa de manutenções corretiva, preventiva e preditiva, de modo a garantir que os produtos da empresa sejam produzidos na quantidade correta e com qualidade requerida pelo mercado, sempre prevendo a maximização da vida útil das máquinas e equipamentos.

Com relação à manutenção de máquinas térmicas, é de grande importância entender os fenômenos físicos envolvidos na operação das mesmas. Basicamente, o processo de troca de calor entre dois fluidos com diferentes temperaturas, os quais se encontram separados por uma parede sólida, ocorre em diversas aplicações nos setores de engenharia dentro das indústrias. Talvez uma das máquinas térmicas mais utilizadas, o trocador de calor é o equipamento usado para realizar essa troca. Este trabalho apresenta a construção e a operação de um trocador de calor do tipo casco-tubo para fins didáticos.

Trocadores de calor deste tipo são de extrema importância no curso de engenharia, uma vez que são amplamente aplicados no campo industrial, em usinas elétricas, usinas de processamento químico, produção de potência, recuperação de calor, aquecimento de ambientes e de condicionamento de ar.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é o apresentar os defeitos mais comuns que ocorrem na indústria em trocadores de calor do tipo casco-tubo e mostrar os procedimentos para que seja feita a sua manutenção. Procura-se então que o mesmo se constitua numa fonte para que o leitor possa aplicar, utilizando-se de poucos conhecimentos prévios sobre o assunto e melhorar sua compreensão sobre a finalidade da manutenção e avaliar que o desempenho final de um equipamento, ou conjunto de equipamentos, pode ser garantido com uma manutenção bem feita.

2.2 Objetivos Específicos

O trocador de calor que será demonstrado de exemplo para manutenção neste presente trabalho seguirá a norma TEMA classe C, na qual o mesmo é utilizado sobre condições moderadas de operação e aplicação comercial para refrigeração. Todo o procedimento de manutenção será demonstrado de modo teórico, sem que haja figuras ou vídeos para sua demonstração. Porém, acredita-se que o material apresentado seja o suficiente para o entendimento da manutenção do referido trocador de calor.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 História da Manutenção

Formas simples de manutenção, como conservação de objetos e ferramentas de trabalho, estendendo-se até pequenas atividades de reparo, podem ser observadas desde os primórdios da civilização. No entanto, foi apenas com a Revolução Industrial do século XVIII, aliada a um grande avanço tecnológico, que a função manutenção emergiu na indústria, como forma de garantir a continuidade do trabalho. Neste caso, o próprio operador da máquina era responsável pela sua manutenção, sendo treinado para realizar reparos (WIREBSK, 2007).

Esse cenário, com manutenção e produção realizadas pelo próprio operador, predominou até a I Guerra Mundial, onde as linhas de montagem introduzidas por Henry Ford iniciaram a demanda por sistemas de manutenção mais ágeis e eficazes, predominantemente direcionados para o que hoje se denomina manutenção corretiva (FILHO, 2008).

Apesar de existirem na indústria pessoas responsáveis pela manutenção, estes ainda eram subordinados à função operação e executavam manutenção corretiva emergencial, o que implicava em conserto após falha e eventual indisponibilidade de máquina. Apenas com a II Guerra Mundial, no final da década de 30, e com a necessidade de produções cada vez maiores e mais enxutas, é que se começou a praticar o monitoramento de máquinas e equipamentos com base no tempo, caracterizando o que hoje se conhece por manutenção preventiva. Assim, a função manutenção, corretiva e preventiva, viria a assumir dentro da indústria posição hierárquica igual à da função produção (FILHO, 2008).

O aumento dos registros de ocorrências de manutenção, bem como os altos gastos com peças de reposição, que ficaram ainda mais evidentes com a prática da manutenção preventiva, impulsionaram as empresas a desenvolver o setor, entre as décadas de 40 e 50, aprimorando o planejamento e a gestão da manutenção, com o advento da Engenharia de Manutenção em nível departamental, subordinada a uma gerência de manutenção (CAMPOS JÚNIOR, 2006).

O foco no controle e prevenção de falhas passou a fazer parte do cotidiano da equipe de manutenção e trouxe bons resultados em termos de aumento da confiabilidade e disponibilidade de máquinas e equipamentos, diminuição dos riscos de segurança e saúde do trabalhador, entre outros. Ainda assim, as interrupções frequentes e os custos gerados pela manutenção preventiva tiveram repercussões negativas na produtividade, afetando o custo dos produtos. Aliado a tal fato, o avanço tecnológico, com difusão dos computadores a partir de meados da década de 60, trouxe inovações para controle, medição e análise de falhas, tanto em termos de tratamento de dados quanto em termos de disponibilidade de novos instrumentos e equipamentos. Assim, foram desenvolvidos critérios de previsão de falhas, com equipes focadas no melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, através de controles estatísticos, estudos das avarias e uso de sistemas informatizados.

Neste contexto, surge a Manutenção Preditiva e a área de Planejamento e Controle da Manutenção - PCM (FILHO, 2008).

A partir de 1980, com desenvolvimento dos microcomputadores a custos mais acessíveis e controles mais simples, as equipes de manutenção adquiriram maior independência para criar e aplicar seus programas, sem necessidade de analista externo à área. Isso possibilitou enorme avanço no manejo de informações e análise de

dados que envolviam manutenção e produção. Houve grande aproximação dessas duas áreas, que buscaram trabalhar com sinergia para aperfeiçoar qualidade e produtividade (TAVARES, 2000).

Observou-se aumento da confiabilidade dos processos industriais e da disponibilidade de equipamentos e máquinas; intervenções mais curtas, conscientes e precisas com análises dos riscos envolvidos; melhoria da segurança e condições ambientais em geral; sistematização dos programas de manutenção, favorecendo a interseção com a própria produção (NETTO, 2008).

Outro aspecto importante dos avanços na manutenção foi à dependência cada vez maior das organizações na capacidade de criação e resposta deste setor, já que as novas exigências do mercado tornaram visíveis as limitações dos sistemas de gestão (MOUBRAY, 1996). Em muitos casos, a necessidade de inovação e otimização demandava criação de equipes multidisciplinares para interações nas fases de projeto, fabricação e manutenção de equipamentos e máquinas, proporcionando resultados ainda melhores em termos de produtividade e eficiência em custos. Além disso, com a crescente exigência de qualidade dos produtos por parte dos consumidores, a manutenção foi obrigada a responder por suas intervenções com maior rigor e confiabilidade, diminuindo retrabalhos e falhas na produção. Neste contexto, a Manutenção assumiu papel não apenas importante, mas estratégico dentro das empresas (FILHO, 2008).

3.2 Conceitos da manutenção

De acordo com MONCHY (1987, p. 3), “o termo manutenção tem sua origem no vocábulo militar, cujo sentido era manter nas unidades de combate o efetivo e o material num nível constante de aceitação”. KARDEC & NASCIF (2009, p. 23)

define o ato de manter ou a manutenção industrial como “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados”.

Em 1975, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, pela norma TB- 116, definiu o termo manutenção como sendo o conjunto de todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição desejada. Anos mais tarde, em 1994, a NBR-5462 trazia uma revisão do termo como sendo a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (ABNT, 1994).

Com relação ao significado ou à definição do que seja manutenção, no trabalho de Ferreira (1975) esta é definida como ato ou efeito de manter(-se). As medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação. Os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas.

Segundo Monchy (1989), a manutenção dos equipamentos de produção é um elemento chave tanto para a produtividade das indústrias quanto para a qualidade dos produtos. É um desafio industrial que implica rediscutir as estruturas atuais inertes e promover métodos adaptados á nova natureza dos materiais.

De acordo com Larousse, a manutenção é o conjunto de medidas necessárias que permitem manter ou restabelecer a um sistema o estado de funcionamento. De uma ou outra maneira, percebe-se que as definições ora citadas neste capítulo falam em “manter”, “restabelecer” ou “conservar” um equipamento ou bem. Contudo, a definição dada por Monchy (1987) serve melhor com o momento atual das empresas que buscam a competitividade e a qualidade total.

3.3 Manutenção corretiva

É a forma mais simples e mais primitiva de manutenção. De acordo com SLACK et al. (2002, p. 625) “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”. Apesar de esta definição apontar para uma manutenção simplesmente entregue ao acaso, essa abordagem ainda se subdivide em duas categorias: planejada e não planejada.

Manutenção corretiva planejada: quando a manutenção é preparada. Ocorre, por exemplo, pela decisão gerencial de operar até a falha ou em função de um acompanhamento preditivo. OTANI & MACHADO (2008, p. 4) apontam que “pelo seu próprio nome planejado, indica que tudo o que é planejado, tende a ficar mais barato, mais seguro e mais rápido”.

Manutenção corretiva não planejada: a correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado é realizada sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior, aleatoriamente. Implica em altos custos e baixa confiabilidade de produção, já que gera ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis (OTANI & MACHADO, 2008).

De acordo com ALMEIDA (2000, p. 2) “poucas plantas industriais usam uma filosofia verdadeira de gerência por manutenção corretiva. Em quase todos os casos, as plantas industriais realizam tarefas preventivas básicas, como lubrificação e ajustes da máquina, mesmo em um ambiente de manutenção corretiva.” Entretanto, o mais importante, segundo ALMEIDA (2000), é que ao adotar esse tipo de filosofia, as máquinas e equipamentos da planta não são revisados e não passam por grandes reparos até a falha.

Esse tipo de gerência de manutenção, apesar de simples, pode requerer custos altíssimos, associados a: estoque de peças sobressalentes, trabalho extra, custo ociosidade de máquina e baixa disponibilidade de produção (ALMEIDA, 2000). E os custos tendem a aumentar ainda mais caso o tempo de reação se prolongue, seja por falha da equipe de manutenção, seja por falta de peça de reposição. Segundo ALMEIDA (2000, p. 2) “(...) O resultado líquido deste tipo reativo de gerência de manutenção é o maior custo de manutenção e menor disponibilidade de maquinaria de processo. A análise dos custos de manutenção indica que um reparo realizado no modo corretivo-reativo terá em média um custo cerca de três vezes maior que quando o mesmo reparo for feito dentro de um modo programado ou preventivo.”

3.4 Manutenção Preventiva.

É a manutenção voltada para evitar que a falha ocorra, através de manutenções em intervalos de tempo pré-definidos. Segundo SLACK et al. (2002, p. 645), “visa eliminar ou reduzir as probabilidade de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em intervalos de tempo pré-planejados”.

De acordo com ALMEIDA (2000, p.3) “todos os programas de gerência de manutenção preventiva assumem que as máquinas degradarão com um quadro típico de sua classificação em particular”. Ou seja, os reparos e recondiçõamentos de máquinas, na maioria das empresas, são planejados a partir de estatísticas, sendo a mais largamente usada a curva do tempo médio para falha – CTMF (ALMEIDA, 2000).

O grande problema deste tipo de abordagem, no entanto, é basear-se em estatísticas para programação de paradas sem, no entanto, avaliar as variáveis específicas da planta que afetam diretamente a vida operacional normal da maquinaria. ALMEIDA (2000, p.3) cita como exemplo que “o tempo médio entre as falhas (TMF) não será o mesmo para uma bomba que esteja trabalhando com água e bombeando polpas abrasivas de minério”. Tais generalizações são as principais responsáveis pelos dois problemas mais comuns ao se adotar a manutenção preventiva: reparos desnecessários ou bastante antecipados e falhas inesperadas (ALMEIDA, 2000). No primeiro caso, adota-se um horizonte temporal conservador, sendo o reparo realizado muito antes do necessário, desperdiçando peças e trabalho. Já no segundo caso, o mais crítico, apesar dos esforços para prevenir a falha, esta acabou acontecendo, associando gastos preventivos aos corretivos que, conforme mostrado anteriormente, são bem maiores.

3.5 Manutenção preditiva

É a manutenção que realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir o instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo (OTANI & MACHADO, 2008).

Segundo ALMEIDA (2000, p. 4): “(...) trata-se de um meio de se melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro, e a efetividade global de nossas plantas industriais de manufatura e de produção”. Isso porque tal abordagem se utiliza de ferramentas mais efetivas para obter a condição operativa real dos sistemas produtivos, ou seja, consegue fornecer dados sobre a condição mecânica de cada máquina, determinando o tempo médio real para falha. Portanto, todas as atividades de manutenção são programadas em uma base “conforme necessário”.

ALMEIDA (2000, p. 4) ainda destaca a diferença mais substancial entre a manutenção corretiva e a preditiva:

“(...) Talvez a diferença mais importante entre manutenção corretiva e preditiva seja a capacidade de se programar o reparo quando ele terá o menor impacto sobre a produção. O tempo de produção perdido como resultado de manutenção reativa é substancial e raramente pode ser recuperado. A maioria das plantas industriais, durante períodos de produção de pico, operam 24 horas por dia. Portanto, o tempo perdido de produção não pode ser recuperado.”

3.6 Manutenção Produtiva Total (TPM)

A Manutenção Produtiva Total (Total Productive Maintenance) teve sua origem no Japão, no início dos anos 60, e tinha como objetivo principal melhorar a confiabilidade dos equipamentos e aumentar a qualidade dos processos,

viabilizando assim o sistema Just in Time (NETTO, 2008).

De acordo com J.I.P.M. (2002) apud MORAES (2004, p. 33), a respeito do TPM: “Esforço elevado na implementação de uma cultura corporativa que busca a melhoria da eficiência dos sistemas produtivos, por meio da prevenção de todos os tipos de perdas, atingindo assim o zero acidente, zero defeito e zero falhas durante todo o ciclo de vida dos equipamentos, cobrindo todos os departamentos da empresa incluindo Produção, Desenvolvimento, Marketing e Administração, requerendo o complexo envolvimento desde a alta Administração até a frente de operação com as atividades de pequenos grupos”.

Ou seja, o TPM exige compromisso voltado para o resultado. Antes de uma política de manutenção, é uma filosofia de trabalho, com forte dependência de envolvimento dos mais diferentes níveis da organização. MORAES (2004) cita três características importantes do TPM:

- Reconhecimento da manutenção como atividade geradora de lucros para a organização;

- Integração e otimização das políticas de manutenção existentes e utilizadas na organização, melhorando a eficiência global dos equipamentos;

- Promoção e incentivo à cultura do envolvimento dos operadores com a manutenção (manutenção espontânea), adquirindo novas capacidades e se dedicando aos projetos de aperfeiçoamento de diagnóstico e do equipamento.

Apesar de cada empresa possuir suas peculiaridades, a metodologia do TPM fornece alguns princípios, denominados pilares, que deveriam ser considerados para sua implementação. MORAES (2004, p. 40) aponta esses oito pilares:

“Melhoria Focada ou Específica”, “Manutenção Autônoma”, “Manutenção Planejada”, “Treinamento e educação”, “Gestão antecipada”, “Manutenção da Qualidade”, “Segurança, saúde e meio ambiente”, “Melhoria dos processos”.

- Melhoria Focada ou Específica: atuação nas perdas crônicas relacionadas aos equipamentos (foco corretivo);
- Manutenção Autônoma: relacionada, principalmente, às atividades que envolvem os operadores e seus equipamentos, despertando neles a vontade de cuidar e manter seus instrumentos de trabalho em boas condições de uso. Baseia-se também no espírito de trabalho em equipe para melhoria contínua das rotinas de manutenção e produção;
- Manutenção Planejada: foco preventivo, com rotinas de inspeção baseadas no tempo ou na condição do equipamento, visando aumento de confiabilidade e disponibilidade e redução dos custos;
- Treinamento e educação: refere-se à aplicação de treinamentos técnicos e comportamentais para desenvolvimento das equipes, principalmente nos quesitos liderança, flexibilidade e autonomia;
- Gestão Antecipada: todos os históricos anteriores de equipamentos e seus similares são analisados quando do projeto de um novo equipamento, a fim de que se construam equipamentos mais adequados aos índices de confiabilidade desejados;
- Manutenção da qualidade: refere-se à interação existente entre qualidade dos produtos e capacidade de atendimento à demanda e confiabilidade dos equipamentos e da manutenção;
- Segurança, Saúde e Meio Ambiente: como sugere o próprio nome, tem foco na melhoria contínua das condições citadas, reduzindo os riscos acerca de falhas;

- Melhoria dos Processos Administrativos: baseia-se em organizar e eliminar desperdícios nas rotinas administrativas, evitando que as mesmas interfiram na eficiência dentro do chão-de-fábrica.

Esses oito pilares definem e norteiam a filosofia do TPM, cujo foco é a “Falha Zero”. Para tanto, a metodologia também sugere objetivos específicos a serem alcançados. Souza (2008, p. 84) cita 4 desses objetivos principais como sendo:

- Eliminação das Grandes Perdas;
- Manutenção Autônoma;
- Manutenção Planejada;
- Educação e Treinamento.

Em relação à Eliminação das Grandes Perdas, o J.I.P.M, originalmente, classificou as seis perdas de equipamentos em (NETTO, 2008):

- 1) Perda por parada devido à quebra/falha: mais significativa segundo o J.I.P.M., sendo originada da não manutenção ou intervenção incorreta no equipamento. Deve ser eliminada;
- 2) Perda por mudança de linha e regulagens: causa a parada de produção, deve ser minimizada ao máximo;
- 3) Perda por operação em vazio e pequenas paradas: motivada por pequenas inatividades de produção (o equipamento para porque houve um pequeno problema durante sua utilização);
- 4) Perda por queda de velocidade: quando há uma diminuição da velocidade de produção, por queda no bom funcionamento e/ou confiabilidade do equipamento;
- 5) Perda por defeitos gerados no processo de produção: perda gerada por repetições de processos defeituosos e/ou retrabalho;
- 6) Perda no início da operação e por queda de rendimento: perda gasta para estabilização do processo, demandando tempo e estudo.

Independente da abordagem de perdas, as organizações que adotam o TPM devem procurar concentrar seus esforços em eliminar as principais causas relacionadas a elas, de maneira a atingir a eficiência global do equipamento. Assim, é simples entender o foco da metodologia em capacitar os operadores para que conduzam a manutenção de forma espontânea e trabalhem proativamente para a melhoria das condições equipamentos, aliando a isso, a capacitação da equipe de manutenção para que seja polivalente, atuando na busca permanente de economias, seja através de projetos, seja através da eliminação dos obstáculos à produção.

3.7 Transferência de calor

Sempre que houver diferença de temperaturas em um meio ou entre meios tendendo ao equilíbrio, haverá, necessariamente, transferência de calor (Incropera, 2002).

3.8 Refrigeração

Pode ser considerado ciclo de refrigeração o processo onde, em circuito fechado, o fluido refrigerante consiga sucessivamente transformar-se em líquido e vapor, absorvendo calor pela evaporação e rejeitando calor pela condensação (MARTINELLI, 2003). Segundo Stoecker e Jabardo (2011) o estudo dos ciclos termodinâmicos envolve um procedimento bem definido para obtenção de refrigeração de modo contínuo. Este procedimento consiste em fazer com que o fluido refrigerante passe por uma série de processos e retorne ao seu estado inicial. Neste caso o ciclo de Carnot se destaca por se tratar de um ciclo ideal (reversível), operando entre dois níveis de temperatura sendo, portanto, o que apresenta maior eficiência.

Conforme Costa (2011), o ciclo de refrigeração é composto por quatro transformações, conforme mostrado na Fig. 1, que demonstra o ciclo de Carnot:

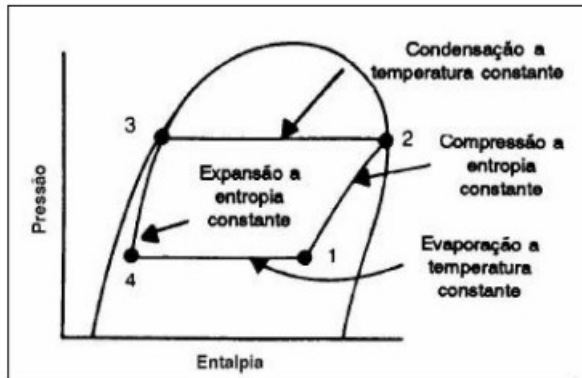


Figura 1 - Diagrama p-h de Mollier

Fonte: <https://lh3.googleusercontent.com/2HRq81Mg7AzSf42WIA084nyDIMVnk3-O4kVsn8VSfoSeJSKjEBif3Bjtru4D7HFsoA9=s131>

1-2 Compressão hipoteticamente isentrópica, na qual o vapor saturado ou superaquecido passa da pressão p_1 , para a pressão p_2 , consumindo um trabalho mecânico;

2-3 Passagem pelo condensador, neste processo o vapor superaquecido, proveniente da compressão, é resfriado isobaricamente até a temperatura de saturação, sendo condensado isobárica e isotermicamente, cedendo calor ao meio ambiente;

3-4 Operação de laminagem, neste processo o vapor condensado é expandido isentalpicamente, passando novamente da pressão p_2 para a pressão p_1 ;

4-1 Passagem pelo evaporador, no qual o líquido refrigerante parcialmente vaporizado após passar pela válvula de expansão sofre sua vaporização final, retirando calor do meio a refrigerar.

3.9 Trocador de Calor

O processo de troca de calor entre dois fluidos que estão a diferentes temperaturas e se encontram separados por uma parede sólida ocorre em muitas aplicações de engenharia. O equipamento usado para implementar essa troca é conhecido como trocador de calor, e suas aplicações específicas podem ser encontradas no aquecimento de ambientes e no condicionamento de ar, na produção de potência, na recuperação de calor em processos e no processamento químico. (Incropera, 2002)

Sabino (2008) define os trocadores de calor como equipamentos não sujeitos a chama, onde dois ou mais fluidos realizam troca de calor sem que ocorra contato direto entre eles, em condições normais de operação.

Conforme Incropera (2002) e De Witt (2002, p. 452) “Trocadores de calor são tipicamente classificados de acordo com o arranjo do escoamento e tipo de construção”. Também podem ser classificados como contato direto ou contato indireto. Nos trocadores de calor de contato indireto, os fluidos permanecem separados por uma parede e o calor é transferido continuamente através dessa parede. “Nos trocadores de transferência direta, os dois fluidos se misturam”.

“As aplicações comuns deste tipo de trocador envolvem a transferência de massa além de transferência de calor; aplicações que envolvem somente a transferência de calor são raras.” (BRAGA FILHO, 2004, p. 548).

3.10 Trocador de calor tipo casco tubo

Os trocadores de calor são classificados também pelo seu tipo de construção. Os principais são os tubulares, chamados de casco e tubos. Os trocadores de calor casco e tubos são constituídos com tubos e uma carcaça; um dos fluidos passa por dentro dos tubos e o outro pelo espaço entre a carcaça e os tubos. Quando o fluido que entra nos tubos circula em seu interior e retorna para a entrada, o trocador é chamado de multipasses. “Existe uma grande variedade de modelos desses trocadores, dependendo da transferência de calor desejada, do desempenho, da queda de pressão, da facilidade de limpeza,

de suportar pressões operacionais e temperaturas altas, de controlar corrosão, etc.” (BRAGA FILHO, 2004, p. 549).

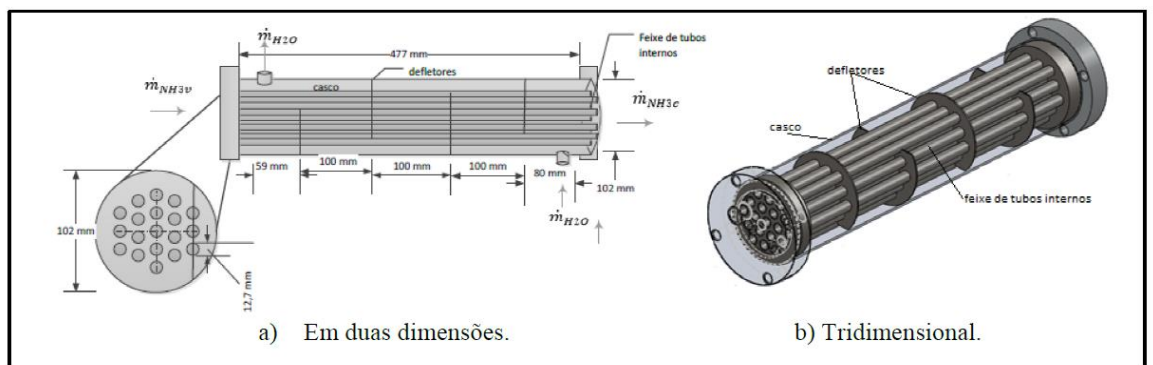
Rosa (2009, p. 2) diz: “Os principais componentes de um trocador de calor casco e tubo são o casco, o feixe de tubos, o cabeçote de entrada e o cabeçote de saída.”.

Segundo Ribeiro (1984, p. 1): O trocador de calor casco e tubo é o tipo de trocador mais amplamente usado, devido à sua construção resistente, à flexibilidade de projeto e de adaptação às condições de processo, tais como condensação, vaporização e troca de calor sem mudança de fase, posicionamento na horizontal ou vertical, ampla faixa de pressão e operação (desde o vácuo até os altos valores de pressão) e ampla faixa da variação da perda de carga permitida.

4. MATERIAIS E METODOS

Neste capítulo iremos apresentar como são realizados os procedimentos para as manutenções para comuns que ocorrem nos trocadores de calor do tipo casco e tubo, porem anteriormente apresentarei os componentes existentes em um trocador de calor do tipo casco tubo seus tipos e suas funções.

4.1 Componentes Trocador de calor tipo casco e tubo



Figuras 2- Componentes básicos de um trocador de calor do tipo casco e tubo

Fonte: https://lh3.googleusercontent.com/bbHGq9H2KwptNa6lx7PnhBOihw8uML3wRP9k7ueN7fm2XNkVt8R80S605d-_U60Qbkb1Yg=s170

Os componentes básicos de um trocador de calor deste tipo são:

- Casco
- Feixe de tubos
- Espelhos
- Defletores (ou chicanas)
- Cabeçotes
- Tirantes

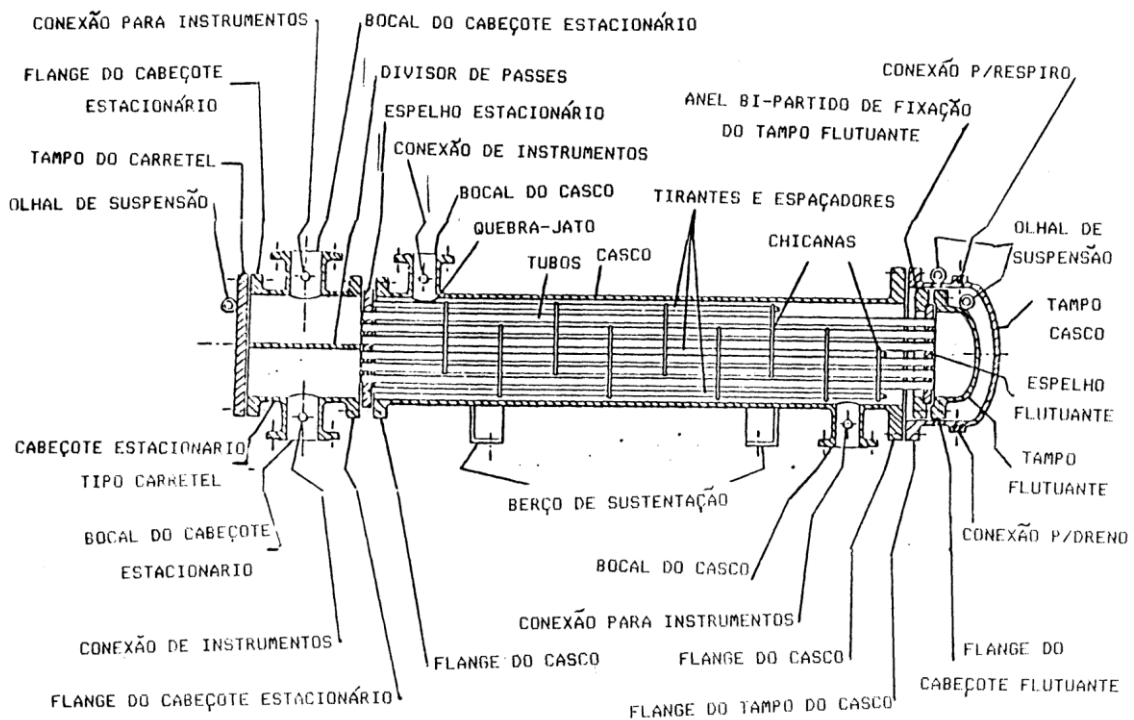


Figura 3 – Componentes detalhados de um trocador de calor tipo casco e tubo

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

Em seguida será detalhado a função de cada componente.

Defletores (ou chicanas):

- conduzem o escoamento do fluido de forma ora cruzado, ora paralelo, o que ocasiona certa turbulência e um maior tempo de residência do fluido do casco, levando a um aumento da transferência de calor.

- ajudam a suportar os tubos no interior do casco, evitando a flexão dos mesmos orifícios anulares, disco e anel e segmentados.

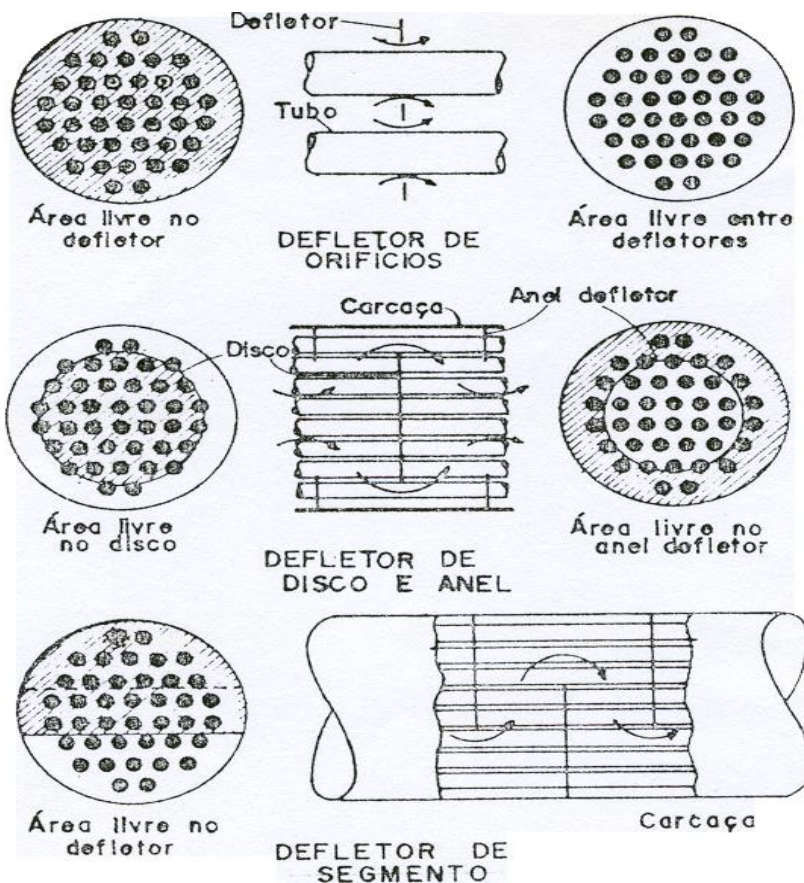


Figura 4- Tipos de defletores

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

Cabeçotes:

- *cabeçote estacionário*: está ligado ao feixe de tubos e serve para admissão ou admissão e descarga do fluido dos tubos

- *cabeçote de retorno*: dá acabamento ao casco ou descarga do fluido dos tubos.

Caracterização de um trocador de calor - TEMA

Tipo: (cabeçote estacionário, casco e cabeçote de retorno)

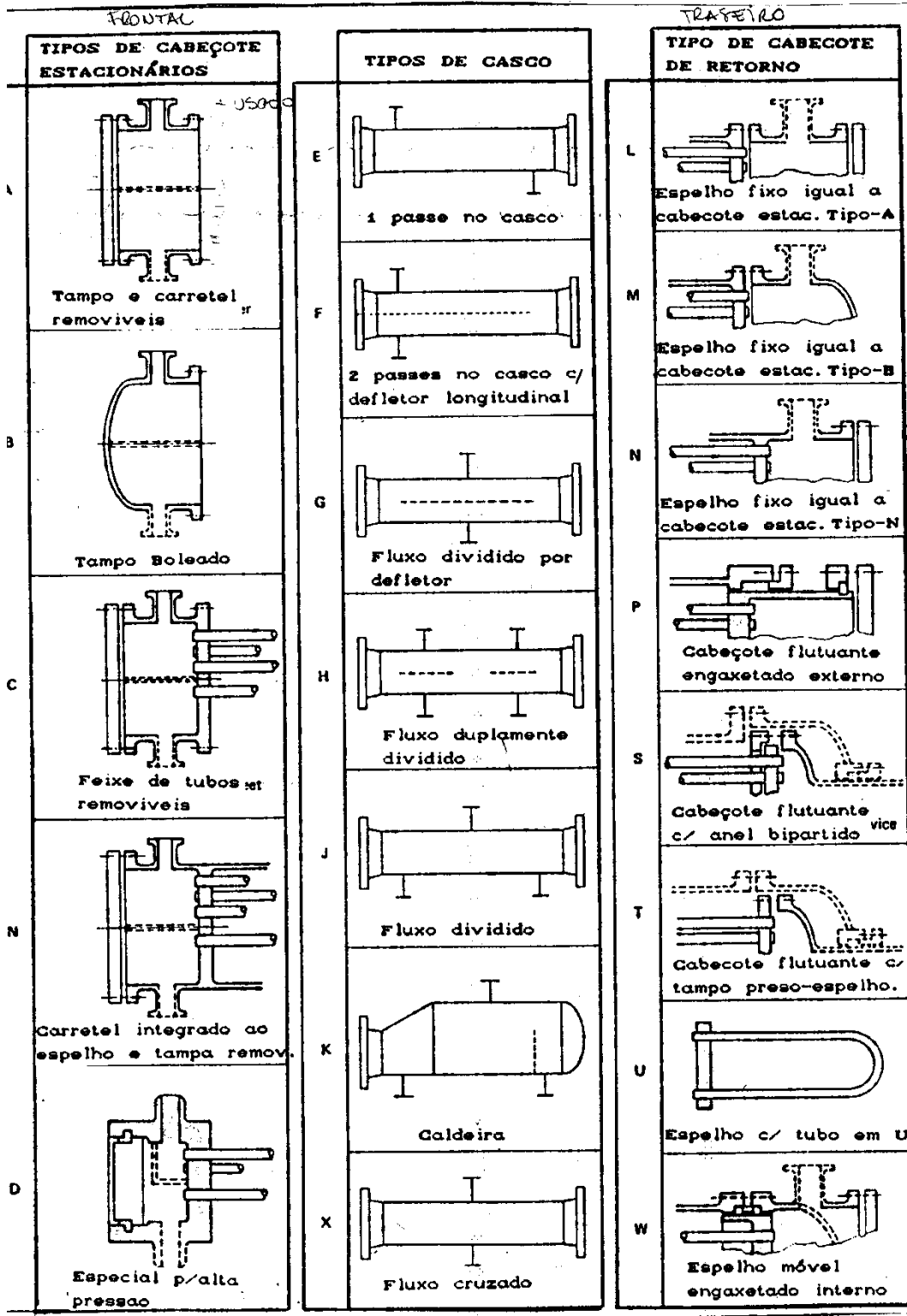


Figura 5- Caracterização do trocador: casco e cabeçotes(TEMA)

Fonte: Apostila de Trocador de Calor, CEFET-BA.

Cabeçotes estacionários:

- Tipos A e B podem ser removidos sem a remoção dos tubos;
- Tipos A e C permitem inspeção dos tubos sem a remoção do cabeçote.

Cascos:

- Tipo E - mais usado;
- Tipos G, H e J para reduzir a perda de pressão do fluido do casco e ainda no caso de condensadores em série;
- Tipo K é usado como refeedor ou em refrigeradores e deve ter o diâmetro do casco bem maior do que o do feixe para prover espaço para o vapor formado.

Cabeçotes de retorno:

- Espelho fixo: Tipos L, M e N são iguais aos cabeçotes estacionários A, B e C;
- Cabeçote flutuante ou tubo em U: são usados quando há um grande diferencial de temperatura entre os fluidos e torna-se necessário prover o trocador para a dilatação do feixe de tubos (P, S e T).

Trocadores com espelhos fixos:

- construção simples;
- o fluido do lado do casco é limpo e não corrosivo (Não se consegue atingir o lado do casco, para limpeza mecânica e a limpeza química é às vezes insatisfatória);
- o diferencial de temperatura entre os fluidos não for grande;
- pressão no lado do casco é alta comparada com a dos tubos.

Trocadores de cabeçote flutuante:

- espelho é móvel, permite o movimento entre casco e tubos ou uma expansão térmica diferencial entre o feixe de tubos e o casco;
- o feixe de tubos pode ser removido para inspeção, limpeza exterior, ou troca dos tubos; Pode-se fazer a manutenção de cabeçotes, e outros componentes no lado do casco, e também fazer a limpeza no interior dos tubos.

Trocadores com tubos em U:

- simplicidade de fabricação;
- fácil remover o feixe de tubos, sendo, portanto o tipo mais econômico;
- a seção dobrada em U é livre para expandir-se no lado casco;
- o fluido que escoar nos tubos deve ser limpo, devido à dificuldade de limpeza dos tubos dobrados;
- difícil a substituição dos tubos individualmente.

4.2 Principais manutenções realizadas em trocadores de calor tipo casco e tubo

Agora irei apresentar os principais tipos de manutenções realizadas na indústria em trocadores de calor do tipo casco e tubo para manter uma eficiência do equipamento e não ocasionar em uma manutenção corretiva e assim assegurar a qualidade de funcionamento do equipamento na produção.

Sendo assim as principais manutenções feitas para que seja garantida essa qualidade são:

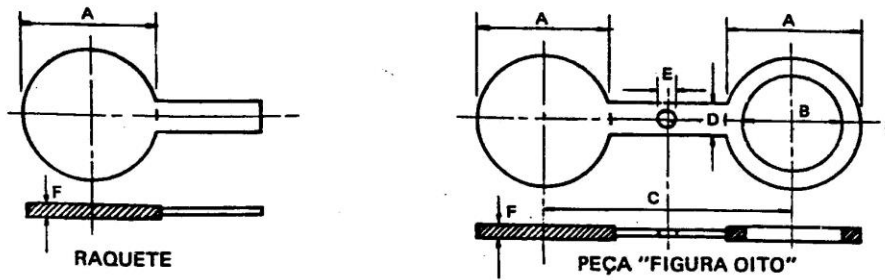
- Raqueteamento, desraqueteamento e aperto de flanges ;

- Troca de juntas;
- Limpeza por hidrojateamento;
- Remandrilamento.

Em seguida será mostrado como são realizados essas manutenções de forma mais detalhada possível.

4.2.1 Raqueteamento, desraqueteamento e aperto de flanges.

4.2.1.1 Especificação de raquetes.



- Notas: 1. As dimensões da tabela correspondem a raquetes e peças "figura oito" fabricadas em chapa de aço ASTM A-285 Gr C para as espessuras até 2" inclusive, e em chapa de aço ASTM A-515 Gr 60 ou A-516 Gr 60 para as espessuras maiores.
2. As espessuras indicadas na tabela são adequadas para as pressões admissíveis dos respectivos flanges, de acordo com a norma ANSI B.16.5 (veja Gráficos 39), e incluem uma sobre-espessura total para corrosão de 1,2mm.

Diâmetro nominal (pol.)	Dimensões (mm)						Diâmetro nominal (pol.)	Dimensões (mm)					
	A	B	C	D	E	F (pol.)		A	B	C	D	E	F (pol.)
Classe de pressão 150#							Classe de pressão 300#						
1	64	29	80	25	14	1/4	1	70	29	89	38	18	1/4
1 1/4	73	35	90	25	14	1/4	1 1/4	79	35	98	38	18	1/4
1 1/2	83	41	98	25	14	1/4	1 1/2	92	41	114	50	22	1/4
2	102	54	121	38	18	1/4	2	108	54	127	50	22	5/16
2 1/2	121	67	140	38	18	1/4	2 1/2	127	67	149	64	22	3/8
3	133	79	152	50	18	1/4	3	146	79	168	64	22	3/8
4	172	108	190	50	18	5/16	4	178	108	200	64	22	1/2
6	219	159	242	70	22	1/2	6	248	159	270	76	22	3/4
8	276	210	298	76	22	5/8	8	305	210	330	76	25	7/8
10	337	260	362	102	25	3/4	10	359	260	387	89	29	1 1/8
12	406	308	432	102	25	3/4	12	419	308	461	102	32	1 1/4
14	448	348	475	114	32	7/8	14	483	340	514	102	32	1 1/2
16	511	390	540	114	32	1	16	537	390	571	114	28	1 1/4
18	546	441	578	127	35	1 1/4	18	594	441	629	127	38	1 1/2
20	603	489	636	127	35	1 1/4	20	651	489	685	127	38	2
24	714	590	750	127	38	1 1/2	24	771	590	813	140	45	2 1/4

Classe de pressão 600#						
Diâmetro nominal (pol.)	A	B	C	D	E	F (pol.)
1	70	29	89	57	19	3/8
1 1/4	79	35	98	57	19	3/8
1 1/2	92	41	114	57	22	3/8
2	108	54	127	57	22	1/2
2 1/2	127	67	149	67	22	5/8
3	146	79	168	67	22	5/8
4	191	108	216	76	25	3/4
6	264	159	292	86	29	1 1/8
8	318	210	350	95	32	1 1/4
10	391	260	432	105	35	1 1/2
12	454	308	490	105	35	1 1/2
14	489	340	528	114	38	2
16	562	390	604	124	41	2 1/4
18	610	441	654	133	45	2 1/2
20	680	489	724	133	45	2 1/2
24	787	590	838	152	51	3 1/4

Tabela 1 – Especificação dos raquetes

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

4.2.1.2 Instalação de raquetes.

São instaladas nas linhas para isolamento e testes de um equipamento ou

sistema operacional.

As raquetes utilizadas possuem uma marcação puncionada no cabo com o diâmetro e a libragem para facilitar a sua identificação.

As raquetes também são identificadas pela cor do cabo:

150 Libras – verde

300 libras – vermelha

600 libras – amarelo

Nos equipamentos a serem testados que não possuam pontos para enchimento ou ventamento, deverão ser instaladas raquetes de teste, tanto para encher como para ventar. Deve-se ter cuidado na instalação para que o lado furado da raquete de teste fique voltado para o lado do equipamento.

Para se conseguir uma vedação satisfatória é necessário que certos procedimentos básicos sejam seguidos na instalação da raquete. Para qualquer tipo de junta ou de material usado na sua fabricação, estes procedimentos são de fundamental importância para que a montagem, teste e operação sejam realizados com sucesso.

- Inspeccione as superfícies de assentamento da junta. Verifique a existência de marcas de ferramentas, trincas, riscos ou pontos de corrosão. Marcas radiais de ferramentas na superfície de vedação são praticamente impossíveis de vedar com qualquer tipo de junta.
- Inspeccione a junta. Verifique se existem defeitos de fabricação ou danos de transporte e armazenamento.
- Inspeccione e limpe os parafusos, portas, arruelas e a superfície dos flanges.
- Lubrifique as roscas e faces de contato das porcas. A montagem não deverá ser iniciada sem esta lubrificação.

4.2.1.3 Juntas provisórias e definitivas de linha.

Quando que se realiza um raqueteamento de um permutador para manutenção, utilizam-se juntas provisórias nos flanges do equipamento. Esta junta deverá ser de papelão hidráulico TEADIT - NA 1002, por ser de menor custo e atender a todas as faixas de pressões dos trocadores da Copesul, em temperatura ambiente.

Para a seleção das juntas definitivas deverá ser seguida a recomendação da projetista do equipamento.

Veja a seguir duas tabelas com dimensões de juntas para flanges com ressalto, dimensões dos parafusos estojos e chaves apropriadas.

DIÂMETRO NOMINAL	FLANGES F.R 150 LIBRAS				
	Juntas		PARAFUSO ESTOJO	QUANT.	CHAVE
	DIÂMETRO INTERNO	DIÂMETRO EXTERNO			
<u>1/2"</u>	21,3	47,8	<u>1/2" X 2.1/4"</u>	4	<u>7/8"</u>
<u>3/4"</u>	26,9	57,2	<u>1/2" X 2.1/4"</u>	4	<u>7/8"</u>
<u>1"</u>	33,3	66,5	<u>1/2" X 2.1/4"</u>	4	<u>7/8"</u>
<u>1.1/4"</u>	42,2	76,2	<u>1/2" X 2.1/4"</u>	4	<u>7/8"</u>
<u>1.1/2"</u>	48,5	85,9	<u>1/2" X 2.3/4"</u>	4	<u>7/8"</u>
<u>2"</u>	60,5	104,1	<u>5/8" X 1.1/4"</u>	4	<u>1. 1/16"</u>
<u>2.1/2"</u>	73,2	124	<u>5/8" X 3.1/2"</u>	4	<u>1. 1/16"</u>
<u>3"</u>	88,9	136,7	<u>5/8" X 3.1/2"</u>	4	<u>1. 1/16"</u>
<u>4"</u>	114,3	174,8	<u>5/8" X 3.1/2"</u>	8	<u>1. 1/16"</u>
<u>6"</u>	168,1	222,3	<u>3/4" X 4"</u>	8	<u>1. 1/4"</u>
<u>8"</u>	218,9	279,4	<u>3/4" X 4.1/4"</u>	8	<u>1. 1/4"</u>
<u>10"</u>	273,1	339,9	<u>7/8" X 4.3/4"</u>	12	<u>1. 7/16"</u>
<u>12"</u>	323,9	409,7	<u>7/8" X 4.3/4"</u>	12	<u>1. 7/16"</u>
<u>14"</u>	355,3	450,9	<u>1" X 5. 1/4"</u>	12	<u>1. 5/8"</u>
<u>18"</u>	457,2	549,1	<u>1.1/8" X 6"</u>	16	<u>1. 13/16"</u>
<u>20"</u>	508,4	606,6	<u>1.1/8"X6.1/4"</u>	20	<u>1.13/16"</u>
<u>24"</u>	609,6	717,6	<u>1.1/4"X7"</u>	20	<u>2"</u>

Tabela 2 – Especificação de flanges 150 libras

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

DIÂMETRO NOMINAL	FLANGES F.R 300 LIBRAS				
	JUNTAS		PARAFUSO ESTOJO	QUANT.	CHAVE
	DIÂMETRO INTERNO	Diâmetro Externo			
<u>1/2"</u>	21,3	53,8	<u>1/2"X2.1/2"</u>	<u>4</u>	<u>7/8"</u>
<u>3/4"</u>	26,9	66,5	<u>5/8"X3"</u>	<u>4</u>	<u>1.1/16"</u>
<u>1"</u>	33,3	73,2	<u>5/8"X3"</u>	<u>4</u>	<u>1.1/16"</u>
<u>1.1/4"</u>	42,2	82,6	<u>5/8"X3.1/4"</u>	<u>4</u>	<u>1.1/16"</u>
<u>1.1/2"</u>	48,5	95,2	<u>3/4"X3.1/2"</u>	<u>4</u>	<u>1.1/4"</u>
<u>2"</u>	60,5	111,3	<u>5/8" X 3.1/2"</u>	<u>8</u>	<u>1.1/16"</u>
<u>2.1/2"</u>	73,2	130,0	<u>3/4" X 4"</u>	<u>8</u>	<u>1.1/4"</u>
<u>3"</u>	88,9	149,4	<u>3/4" X 4.1/4"</u>	<u>8</u>	<u>1.1/4"</u>
<u>4"</u>	114,3	180,8	<u>3/4" X 4.1/2"</u>	<u>8</u>	<u>1.1/4"</u>
<u>6"</u>	168,1	251,0	<u>3/4" X 4.3/4"</u>	<u>12</u>	<u>1.1/4"</u>
<u>8"</u>	218,9	307,8	<u>7/8" X 5.1/2"</u>	<u>12</u>	<u>1.7/16"</u>
<u>10"</u>	273,1	362,0	<u>1" X 6.1/4"</u>	<u>16</u>	<u>1.5/8"</u>
<u>12"</u>	323,9	422,1	<u>1.1/8" X 6.3/4"</u>	<u>16</u>	<u>1.13/16"</u>
<u>14"</u>	355,6	485,6	<u>1.1/8" X 7"</u>	<u>20</u>	<u>1.13/16"</u>
<u>16"</u>	406,4	539,8	<u>1.1/4" X 7.1/2"</u>	<u>20</u>	<u>2"</u>
<u>18"</u>	457,2	596,9	<u>1.1/4" X 7.3/4"</u>	<u>24</u>	<u>2"</u>
<u>20"</u>	508,0	654,1	<u>1.1/4" X 8.1/4"</u>	<u>24</u>	<u>2"</u>
<u>24"</u>	609,6	774,7	<u>1.1/2" X 2.3/8"</u>	<u>24</u>	<u>2.3/8"</u>

Tabela 3 - Especificação de flanges 300 libras

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

Ø NOMINAL	JUNTA TIPO	Ø INTERNO	Ø EXTERNO		CIRC. FURAÇÃO		Nº DE FUROS		Ø DOS FUROS	
			150 psi	300 psi	150 psi	300 psi	150 psi	300 psi	150 psi	300 psi
1/2"	FF	27/32"	3.1/2"	3.3/4"	2.3/8"	2.5/8"	4	4	5.8"	5/8"
	RF		1.7/8"	2.1/8"	-	-	-	-	-	-
3/4"	FF	1.1/16"	3.7/8"	4.5/8"	2.3/4"	3.1/4"	4	4	5/8"	3/4"
	RF		2.1/4"	2.5/8"	-	-	-	-	-	-
1"	FF	1.5/16"	4.1/4"	4.7/8"	3.1/8"	3.1/2"	4	4	5/8"	3/4"
	RF		2.5/8"	2.7/8"	-	-	-	-	-	-
1.1/4"	FF	1.21/32"	4.5/8"	5.1/4"	3.1/2"	3.7/8"	4	4	5/8"	3/4"
	RF		3"	3.1/4"	-	-	-	-	-	-
1.1/2"	FF	1.29/32"	5"	6.1/8"	3.7/8"	4.1/2"	4	4	5/8"	7/8"
	RF		3.3/8"	3.3/4"	-	-	-	-	-	-
2"	FF	2.3/8"	6"	6.1/2"	4.3/4"	5"	4	8	3/4"	3/4"
	RF		4.1/8"	4.3/8"	-	-	-	-	-	-
2.1/2"	FF	2.7/8"	7"	7.1/2"	5.1/2"	5.7/8"	4	8	3/4"	7/8"
	RF		4.7/8"	5.1/8"	-	-	-	-	-	-
3"	FF	3.1/2"	7.1/2"	8.1/4"	6"	6.5/8"	4	8	3/4"	7/8"
	RF		5.3/8"	5.7/8"	-	-	-	-	-	-
3.1/2"	FF	4"	8.1/2"	9"	7"	7.1/4"	8	8	3/4"	7/8"
	RF		6.3/8"	6.1/2"	-	-	-	-	-	-
4"	FF	4.1/2"	9"	10"	7.1/2"	7.7/8"	8	8	3/4"	7/8"
	RF		6.7/8"	7.1/8"	-	-	-	-	-	-
5"	FF	5.9/16"	10"	11"	8.1/2"	9.1/4"	8	8	7/8"	7/8"
	RF		7.3/4"	8.1/2"	-	-	-	-	-	-
6"	FF	6.5/8"	11"	12.1/2"	9.1/2"	10.5/8"	8	12	7/8"	7/8"
	RF		8.3/4"	9.7/8"	-	-	-	-	-	-
8"	FF	8.5/8"	13.1/2"	15"	11.3/4"	13"	8	12	7/8"	7/8"
	RF		11"	12.1/8"	-	-	-	-	-	-
10"	FF	10.3/4"	16"	17.1/2"	14.1/4"	15.1/4"	12	16	1"	1.1/8"
	RF		13.3/8"	14.1/4"	-	-	-	-	-	-
12"	FF	12.3/4"	19"	20.1/2"	17"	17.3/4"	12	16	1"	1.1/4"
	RF		16.1/8"	16.5/8"	-	-	-	-	-	-
14"	FF	14"	21"	23"	18.3/4"	20.1/4"	12	20	1.1/8"	1.1/4"
	RF		17.3/4"	19.1/8"	-	-	-	-	-	-
16"	FF	16"	23.1/2"	25.1/2"	21.1/4"	22.1/2"	16	20	1.1/8"	1.3/8"
	RF		20.1/4"	21.1/4"	-	-	-	-	-	-
18"	FF	18"	25"	28"	22.3/4"	24.3/4"	16	24	1.1/4"	1.3/8"
	RF		21.5/8"	23.1/2"	-	-	-	-	-	-
20"	FF	20"	27.1/2"	30.1/2"	25"	27"	20	24	1.1/4"	1.3/8"
	RF		23.7/8"	25.3/4"	-	-	-	-	-	-
24"	FF	24"	32"	36"	29.1/2"	32"	20	24	1.3/8"	1.5/8"
	RF		28.1/4"	30.1/2"	-	-	-	-	-	-

Tabela 4 – Especificação de juntas

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

4.2.1.4 Especificação de parafuso.

Vai ser utilizado um parafuso do tipo estojo em todas as ligações flangeadas e nos equipamentos. Trata-se de um pedaço de barra rosqueada com duas porcas em seus extremos. Os requisitos básicos de uma descrição correta de um parafuso

são: nome padronizado, material, rosca, porcas e dimensões.

Veja abaixo um exemplo de uma descrição padronizada:

Parafuso Estojo de acordo com ASTM A-193 Gr. B7 com 2 porcas semi-acabadas, rosca UNC, de aço carbono ASTM A 194 Gr. 2H.

Sempre que houver a necessidade de fabricação de parafusos novos, deve ser previsto um acréscimo no comprimento para compensar a espessura da raquete que porventura tenha que ser instalada neste local. O fiscal de serviços deve estar atento para a correta distribuição dos parafusos para cada lado do flange e se não existem parafusos frouxos.

Para seleção de parafusos e porcas de flanges deverá ser consultada a norma "Technip", Especificação de Materiais de Tubulação, e para parafusos e porcas de equipamentos utilizarem os materiais descritos no desenho da projetista do equipamento.

4.2.1.5 Aperto de flanges.

O aperto dos flanges deve sempre ser feito por igual até a tensão recomendada, devendo-se começar o aperto pelos parafusos diametralmente opostos e depois igualmente distribuídos na circunferência do flange; a figura abaixo mostra a sequência recomendada de aperto para alguns flanges. Não se deve procurar corrigir desalinhamentos entre flanges pelo aperto excessivo dos parafusos, porque há parafusos que não resistam a um aperto exagerado. O aperto deve ser feito com as chaves adequadas ao tamanho dos parafusos. Não se deve nunca usar chaves com barras ou outros artifícios destinados a aumentar o esforço de aperto, porque tais recursos, além de causarem acidentes, só servirão para danificar os parafusos, os flanges, ou a própria chave. A compressão que se dá entre os dois flanges deverá ser tanto maior quanto menor for a espessura da junta e maior ser a dureza do material da mesma.

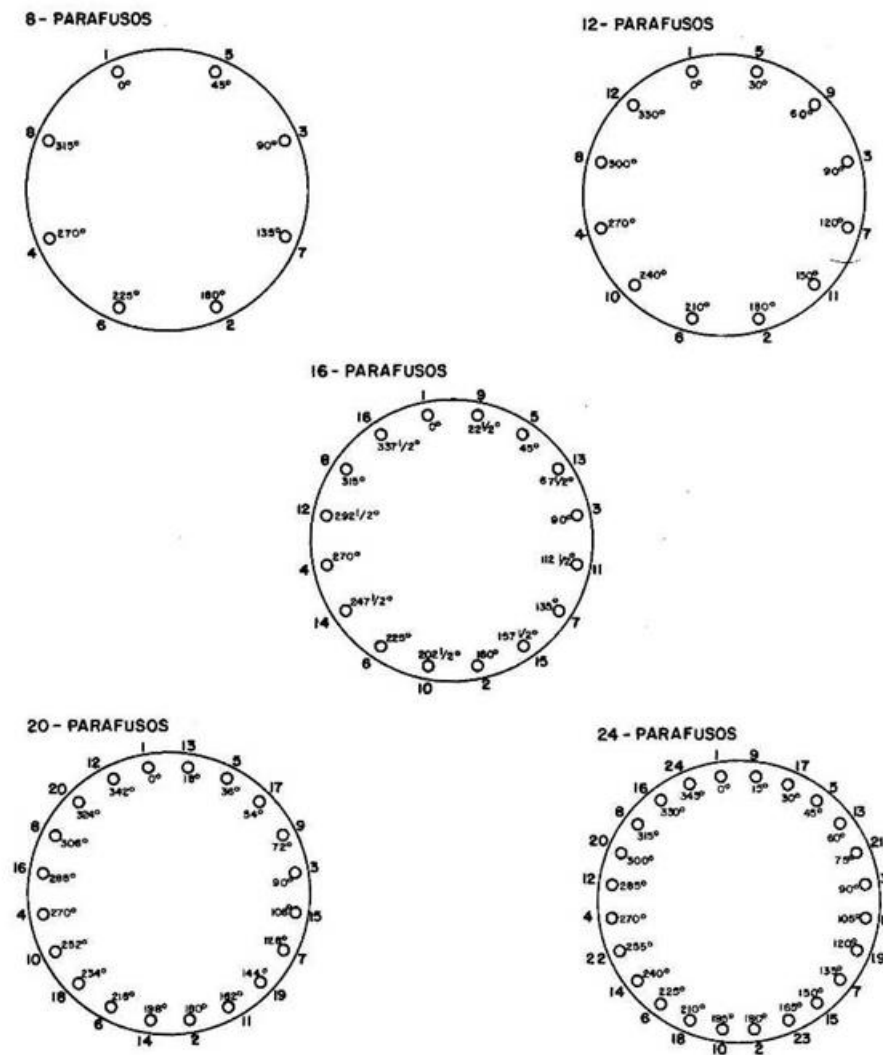


Figura 6 – Aperto de flanges

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

4.2.2 Troca de juntas.

Uma das formas mais eficientes de determinação das causas de, um vazamento é uma cuidadosa análise da junta usada, quando ele ocorreu. A seguir, estão relacionadas diversas situações e suas possíveis soluções:

- Junta muito corroída: selecionar um material com melhor resistência à corrosão.

- Junta extrudada excessivamente: selecionar um material com melhor resistência ao escoamento a frio ou com maior resistência ao esmagamento.
- Junta amassada excessivamente: selecionar junta com maior resistência ao esmagamento; usar anel limitador de compressão ou reprojeter os flanges.
- Junta com superfície de vedação danificada: verificar as dimensões da junta e dos flanges. A junta pode estar com o diâmetro interno menor ou com o diâmetro externo maior que os diâmetros dos flanges.
- Junta sem sinais de esmagamento: selecione uma junta mais macia ou reduza a área de contato da junta com o flange.
- Junta mais fina no diâmetro externo: indicação de "rotação" ou deflexão do flange. Alterar as dimensões da junta de modo que ela fique mais próxima dos parafusos, reduzindo o momento de rotação. Selecionar uma junta mais macia, que requeira uma menor pressão de esmagamento. Reduzir a área da junta. Reforçar o flange para aumentar a sua rigidez.
- Junta esmagada irregularmente: procedimento incorreto de aperto dos parafusos. Assegurar-se de que a sequência de aperto dos parafusos seja seguida corretamente.
- Junta com espessura variando regularmente: indicação de flanges com espaçamento excessivo entre os parafusos ou sem rigidez suficiente. Reforçar os flanges, diminuir o espaçamento entre os parafusos ou selecionar uma junta mais macia.

4.2.2.1 Tipos de juntas

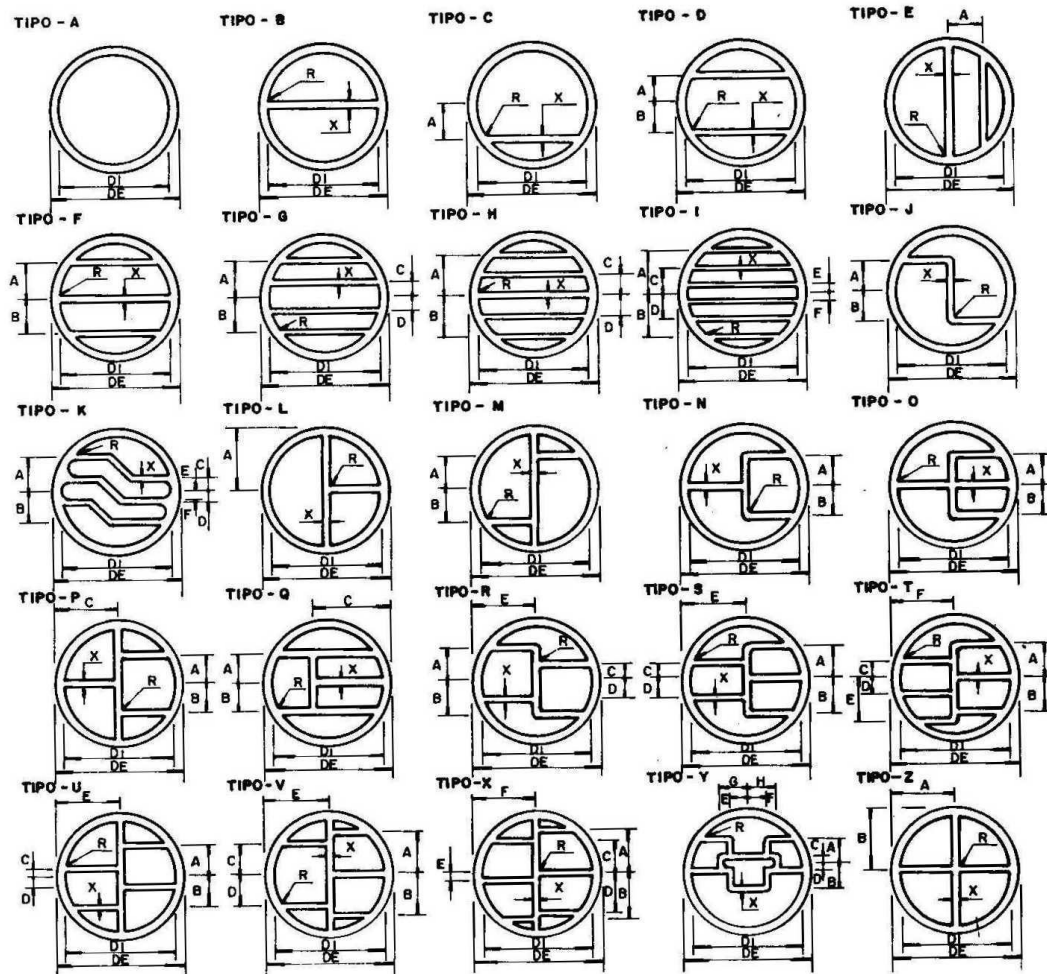


Figura 7 – Tipo de Juntas

Fonte: <http://www.plastiveda.com.br/wp-content/uploads/esquema-juntas-trocadores-de-calor.png>

4.2.2.1.1 Juntas fabricadas em uma só peça.

A construção mais tradicional das juntas de dupla camisa para trocador de calor é a fabricação em uma só peça, conforme mostrado na figura a seguir. Nesta construção existe um raio de concordância entre travessas e o anel externo.

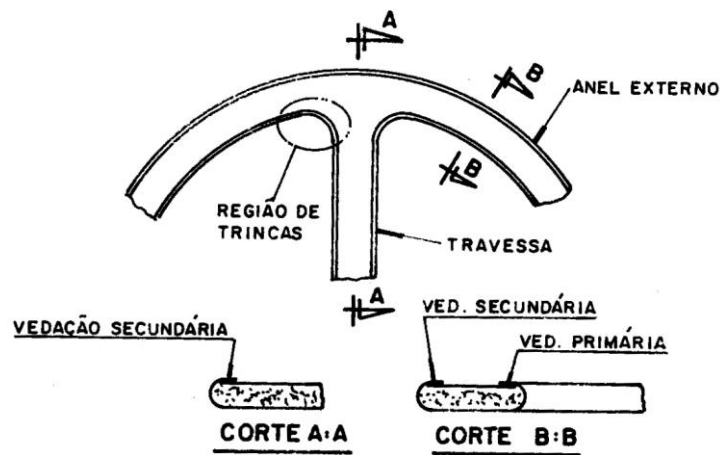


Figura 8 – Juntas fabricadas em uma só peça

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

Os raios de concordância mínimos estão mostrados na tabela abaixo. Raios menores podem resultar em trincas no material diminuindo a capacidade de vedação da junta.

Material da Junta	Raio de Concordância
	Mínimo em mm
Alumínio	6
Cobre	8
Aço Carbono	10
Aço Inoxidável	12
Níquel	10

Tabela 5 – Raio de concordância

4.2.2.1.2 Juntas com travessas soldadas

As juntas com travessas soldadas eliminam um dos grandes problemas das juntas de uma só peça que são as trincas na região dos raios de concordância,

conforme mostrado na Figura anterior.

Em virtude das tensões decorrentes do repuxo ocorrem trincas nos raios de concordância, permitindo a passagem do fluido. A vedação primária e secundária não existe, ficando a vedação restrita à vedação secundária.

Além das trincas, estas juntas possuem área maior na região da concordância, reduzindo a pressão de esmagamento e a selabilidade.

Para evitar os pontos fracos causados pelas trincas nos raios de concordância, foi desenvolvida a junta para trocador de calor com travessas soldadas, que assegura a vedação primária e secundária em toda a junta. A selabilidade da junta é consideravelmente maior reduzindo riscos de vazamento para o meio ambiente.

As travessas devem assegurar a vedação entre as passagens do trocador de calor. No sistema de travessas soldadas existe um pequeno vazamento que vai reduzir de valor desprezível a eficiência do trocador, não oferecendo riscos ao meio ambiente.

A fixação das travessas é feita por dois pontos de solda em cada extremidade. Desta forma, há uma completa fixação da travessa ao anel externo sem prejudicar a vedação primária e secundária. Esses pontos de solda são executados de maneira a não criar regiões mais resistentes ao esmagamento, tornando o aperto uniforme ao redor da junta.

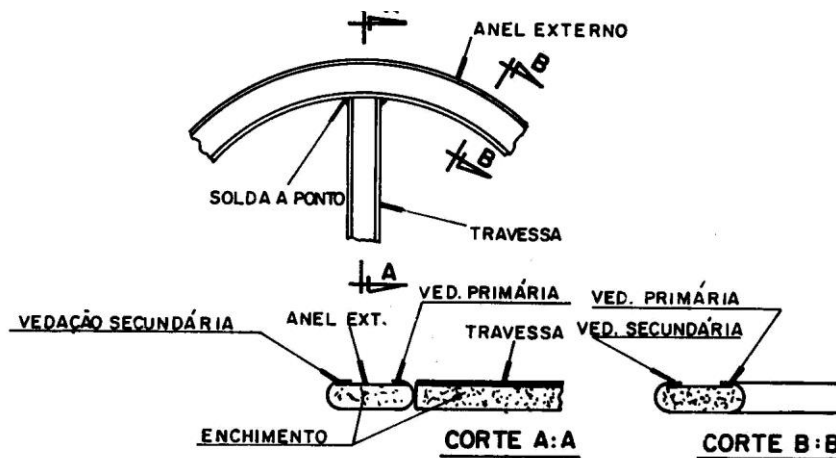


Figura 9 – Fixação de travessas

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

4.2.2.1.3 Juntas de grande diâmetro.

Quando as dimensões da junta forem maiores que a folha de papelão hidráulico ou se, devido às razões econômicas, for necessário a sua fabricação em setores, são usados dois tipos de emendas: cauda-de-andorinha e chanfrada.

4.2.2.1.3.1 Cauda de andorinha.

É a emenda mais usada em aplicações industriais, permitindo a fabricação de juntas em qualquer tamanho e espessura. Cada emenda macho e fêmea ajustada de modo que haja um mínimo de folga. Ao montar deve ser observada a indicação existente, evitando trocas de setores.

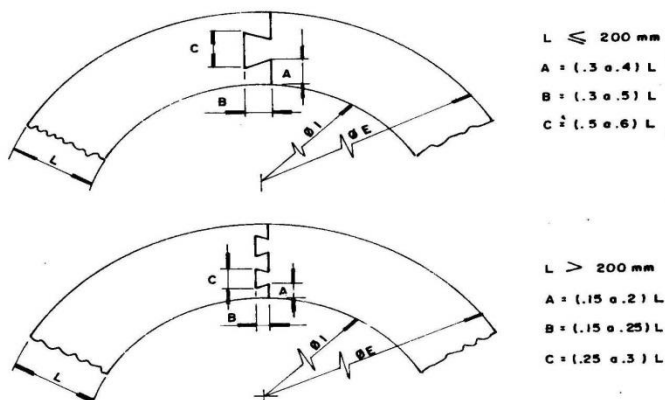
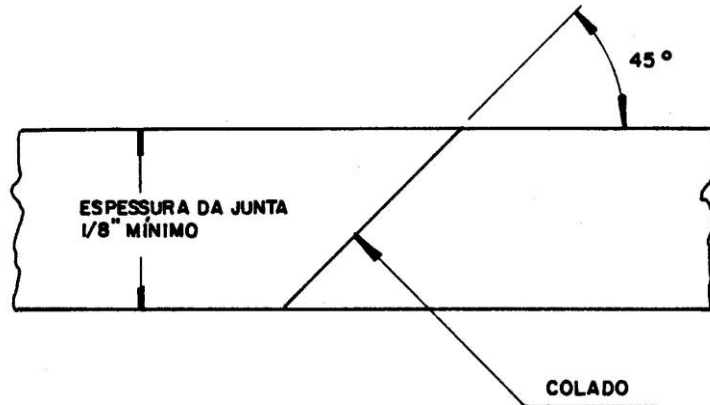


Figura 10 – Cauda de andorinha

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

4.2.2.1.3.2 Chanfrada.

Quando a força de esmagamento não for suficiente, podem ser feitas emendas chanfradas e coladas. Devido à dificuldade de fabricação, só é viável este tipo construtivo para espessuras de, no mínimo, 1/8" (3,2 mm).



4.2.2.2 Espessura de juntas.

O código ASME recomenda três espessuras para aplicações industriais: 1/32" (0,8 mm), 1/16" (1,6 mm) e 1/8" (3,2 mm). Ao especificar a espessura de uma junta, devemos levar em consideração, principalmente, a superfície de vedação. Como regra geral, recomenda-se que a junta seja de espessura apenas suficiente para preencher as irregularidades dos flanges.

Aplicações práticas bem sucedidas recomenda-se que a espessura seja igual a quatro vezes a profundidade das ranhuras. Espessuras acima de 1/8" (3,2 mm) só devem ser usadas quando estritamente necessário. Em flanges muito desgastados, distorcidos ou de grandes dimensões podem ser usadas espessuras de até 1/4" (6,4 mm).

Para flanges com superfícies retificadas ou polidas deve-se usar a menor espessura possível (até 1 mm). Não havendo ranhuras ou irregularidades para 'morder', a junta pode ser expulsa pela força radial provocada pela pressão interna.

4.2.3 Limpeza por hidrojateamento.

Os componentes dos trocadores de calor normalmente são limpos por hidrojateamento, que tem por finalidade reduzir as obstruções e incrustações decorrentes do período de campanha.

Não existem padrões de limpeza de componentes de trocadores de calor claramente definidos. Estes devem ser discutidos e concensados previamente entre a Engenharia de Avaliação, Manutenção e Unidades Operacionais.

No estabelecimento de um padrão de limpeza, devem ser considerados os aspectos de disponibilidade de tempo, dificuldade de remoção das incrustações, real necessidade de remoção total das incrustações e prejuízo ao sistema operacional, limitação dos equipamentos de limpeza e custos.

Porém a limpeza é feita usando uma bomba de alta pressão KAMAT e as mangueiras deverão ser no mínimo de 4 tramas, e possuir camisa de malha ou cabo de aço nas conexões da mangueira.

Deve se inserir o bico com a lança no interior do tubo a ser jateado com a bomba ligada, somente ligar a bomba após a lança estar no interior do tubo, sendo assim empurrar a mangueira ate que o bico saia do lado oposto.

Este procedimento deve ser repetido em todos os tubos, para que possa haver uma melhor eficiência do trocador de calor.

4.2.4 Remandrimento

Diversas vezes necessitamos substituir ou mandrilar tubos para inspeção ou que apresentem problemas de vazamentos na mandrilagem.

É a operação que consiste em expandir os tubos nos furos do espelho. O mandrilamento é executado por uma ferramenta apropriada que expande a extremidade do tubo contra a parede interna do furo, provocando um esmagamento no tubo tal que a região entre o diâmetro externo do tubo e o diâmetro do furo do espelho fique impermeável a água sob pressão operacional e de teste, e tal que resista a tendência do tubo de mover-se no orifício do espelho, sob condições operacionais.

Esta expansão do tubo contra o furo do espelho pode ser:

- Expansão de encosto: Expansão do tubo até que a sua superfície externa entre em contato com a superfície interna do tubo.
- Expansão de Selagem: Expansão do tubo para, além do encosto, promover vedação na interface tubo x furo do espelho.

Devido a redução de espessura que a parede do tubo sofre com a expansão, ocorre também um deslocamento axial do metal do tubo, ou seja, um alongamento do tubo. O deslocamento axial do metal alonga o tubo em ambas as direções: entre os espelhos, o alongamento provoca um flexionamento; na parte externa do espelho, o alongamento se traduz simplesmente por um aumento do comprimento da extremidade saliente do tubo.

Assim que se estabelece um contato de metal com metal entre toda a circunferência externa do tubo e o orifício do espelho, o metal da parede do tubo é comprimido fortemente entre rolos expansores e o espelho, verificando-se em pequeno aumento do diâmetro externo do tubo. Essas forças de compressão são transmitidas ao espelho, podendo danificá-lo se a expansão do tubo for exagerada.

Para melhorar a resistência mecânica e a estanqueidade da junta tubo/furo do espelho, são feitas ranhuras na parede do furo, para que o material do tubo as preencha. As ranhuras são em geral feitas em número de 2 ou mais e tem suas dimensões padronizadas pela TEMA: 1/8" de largura por 1/64" de profundidade.

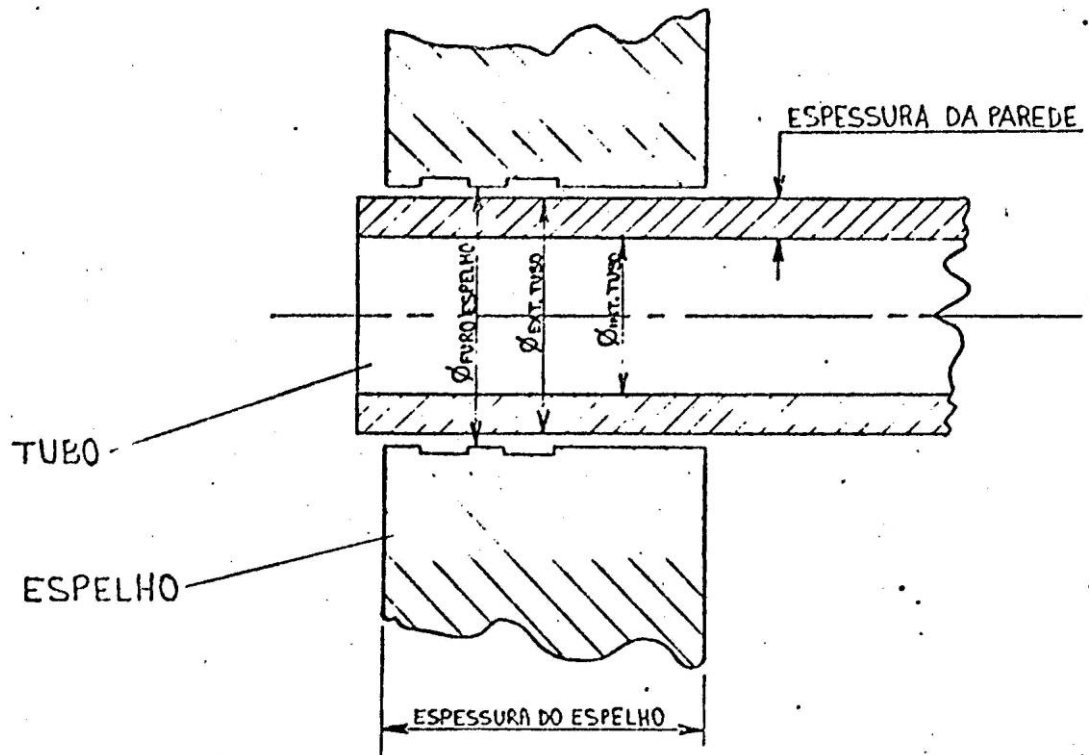


Figura 12 - Tubo antes da expansão

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

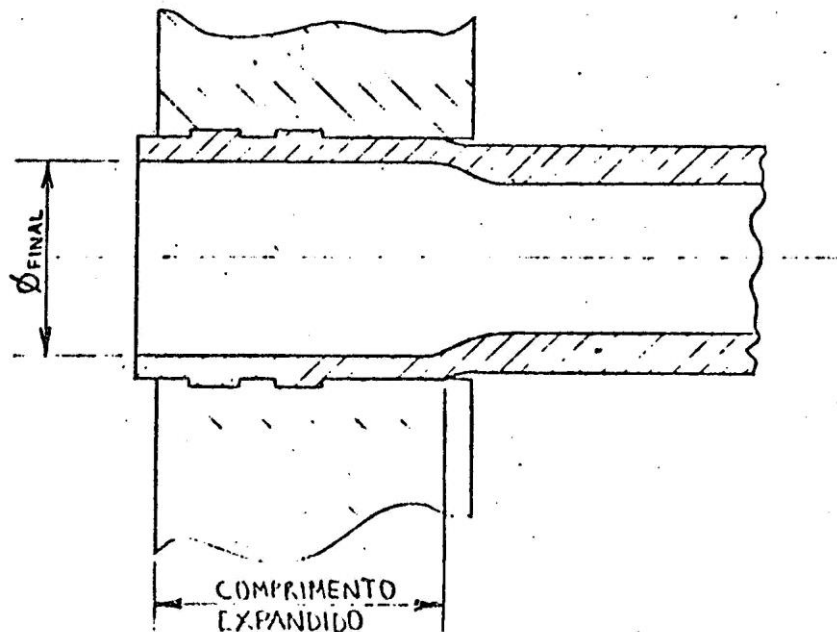


Figura 13 - Tubo Expandido

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

4.2.4.1 Alongamento dos Tubos.

As extremidades dos tubos poderão se estender além da face externa dos espelhos até um comprimento máximo de “Diâmetro Externo do tubo/ 2”, ou seja, metade do diâmetro externo do tubo.

Este alongamento dos tubos é, na maioria dos casos, desejável, pois proporciona duas vantagens:

- Proteção dos espelhos conta erosão;
- Maior facilidade de identificação da origem de vazamentos.

4.2.4.2 Controle de Expansão.

A expansão ideal corresponde a situação em que só o tubo é deformado plasticamente, de modo que o espelho permaneça no campo elástico, exercendo compressão sobre a parede do tubo.

Deve-se executar a expansão sob rigoroso controle, a fim de que se consiga a expansão ideal do tubo, pois tanto o tubo pouco expandido como a expansão demasiada do tubo apresentam consequências indesejáveis.

A super-expansão (expansão demasiada) resulta, em geral, em uma junta tubo-espelho ruim e na deformação permanente da região do espelho compreendida entre dois furos adjacentes e, conseqüentemente, de todo o espelho. A super-expansão é a situação mais comum, pois ela traduz uma tendência natural das pessoas, da mesma maneira que é muito frequente apertarem-se parafusos até o limite de sua resistência.

4.2.4.3 Operação de mandrilamento

A seguir, são dadas algumas informações sobre o mandrilamento de tubos.

4.2.4.3.1 Torque.

Ajuste o anel indicador de torque para o valor correto recomendado para o tubo a ser mandrilado.

A grande quantidade de especificações diferentes que determinam a correta expansão dos tubos torna impraticável o fornecimento de tabelas que atendam a todas as necessidades.

4.2.4.3.2 Lubrificação do Expansor.

Expandidores para tubos são ferramentas de precisão e sujeitas a grandes esforços. Por isso, alguns cuidados devem ser observados nas operações de expansão:

1º Antes de cada operação de expansão, o expandidor deve ser lido num

solvente (óleo diesel ou querosene) a fim de remover todas as partículas que prejudicam o funcionamento da ferramenta.

- 2º Após a limpeza, o expandidor deve ser imerso num óleo lubrificante a fim de eliminar ao máximo o atrito durante o trabalho.
- 3º Verificar sempre se os rolos e a haste estão mostrando sinais de careamento. Caso alguma dessas peças esteja careada, deve ser substituída.

Um rolo defeituoso danifica a haste, e esta os outros rolos.

- 4º Sempre que possível, use dois expandidores durante uma operação de mandrilagem. Isso torna possível ter um já limpo de matéria estranha, resfriado em solvente, pronto para uso imediato. Este procedimento acelera o trabalho de mandrilagem e ao mesmo tempo assegura vida longa aos expansores.
- 5º Após o serviço, o expandidor deve ser limpo e lubrificado a fim de não sofrer a ação de tempo.

4.2.4.4. Sequencia de mandrilhamento.

Para se ter uma perfeita união dos tubos no espelho e a fim de não provocar um empeno no espelho, deve-se inicialmente mandrilar em cruz e no centro do espelho (com 4 e 8 tubo em cada ponto). Em seguida, mandrila-se de cima para baixo (no caso de permutadores em posição horizontal).

Limpe cuidadosamente o furo do espelho e a parte externa do tubo que vai ser mandrilado. Não lubrifique nem o furo do espelho nem a parte externa do tubo.

Após a limpeza interna do tubo na região de mandrilagem, e lubrificação do expansor, coloque o expansor indicado no encaixe de troca rápida da mandriladora, e introduza o expansor no tubo, iniciando a mandrilagem girando o acelerador manual para frente.

Mantenha nesta posição até o controlador de torque desligar o motor

automaticamente. Então o tubo estará corretamente mandrilado.

Para retirar o expansor do tubo, inverta a rotação do motor girando o acelerador manual na direção inversa, e então coloque o expansor no próximo tubo. Não é necessário parar o motor durante este período, procedendo-se desta maneira se ganha algum tempo.

Para espelhos espessos (espessura maior que o comprimento dos roletes) deve-se introduzir o expansor quantas vezes sejam necessárias nas diversas posições ao longo da espessura, até se Ter certeza que toda a região do tubo no comprimento expandido recomendado sofreu expansão.

Deve-se ainda marcarem-se os tubos mandrilados, para Ter-se certeza que todos os tubos sofrem expansão.

Após a expansão e utilizando-se um calibre de medidas internas (micrômetro), deve-se tomar a medida do diâmetro interno do tubo na região da expansão.

Esta medida é tomada no plano perpendicular ao eixo do furo, e em duas direções: uma a 90° da outra, como ilustra a figura a seguir:

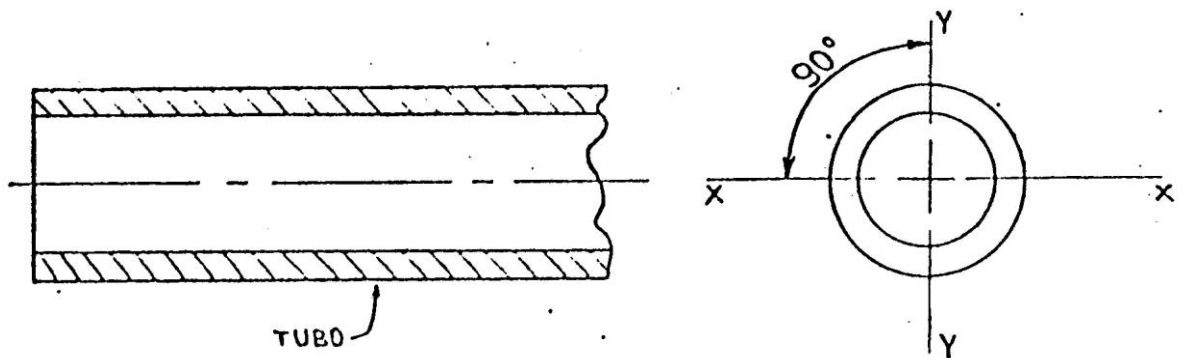


Figura 14 - Ilustração de como tomar as medidas internas do tubo.

Fonte: Retirado do programa de treinamento para operadores da COPESUL(2001)

Devem-se medir obrigatoriamente os cinco primeiros tubos mandrilados, para que seja feita uma avaliação do torque, e após a expansão de todos os tubos, deve-se

tomar a medida de pelo menos 3% dos tubos expandidos no espelho.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho contemplou-se com diversos aspectos relacionados a manutenção de um trocador de calor do tipo casco e tubo, visando obter uma melhor eficiência na indústria. Sabendo que os trocadores são responsáveis pelo melhor aproveitamento energético na indústria, é de grande interesse da indústria que um equipamento deste sempre esteja com a manutenção em dia e de qualidade, para que consiga realizar a troca térmica de forma mais eficiente possível, sendo mais competitiva neste mercado globalizado em que vivemos hoje, podendo assim ter uma competitividade maior no produto, obtendo mais qualidade e redução de preços. Podendo a manutenção quando bem planejada e feita de forma preventiva ou preditiva, pode otimizar outras variáveis do processo, como o estoque, podendo aplicar um lean manufacturing, retirando um custo da indústria que pode ser usado para melhorias.

Sabendo que este trabalho é apenas teórico e pode haver diferentes maneiras de se realizar a mesma manutenção, acredito que o trabalho trouxe de forma clara os passos de como é feita uma manutenção na indústria, sabendo que o trabalho foi baseado o que eu vi de manutenção em trocador de calor no meu estágio, e em uma ajuda teórica dos engenheiros e supervisores da Raízen.

Concluindo, acredito que o trabalho cumpriu seus objetivos e trouxe de forma clara o que foi proposto, espero que possa ser de grande ajuda para os alunos na graduação.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>>. Acesso em 04 set. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

CAMPOS JÚNIOR, E. E. **Reestruturação da área de planejamento, programação e controle na Gerência de manutenção Portuária – CVRD**. 2006. 74f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2006. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/50480408/3/HISTORICO-DA-MANUTENCAO>>. Acesso em: 01 set. 2015.

ÇENGEL, A. Y.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa**. 4º ed. Editora McGraw-Hill, 2012

Costa, Ênnio Cruz, **Refrigeração**, 3 ed., Editora Edgard Blücher Ltda.

FILHO, R. A. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC**. *Programa de Atualização Técnica 2008 – Sistema FIRJAN - SESI/SENAI – Rio de Janeiro* [On line]. Disponível em <<http://manutencao.net/v2/uploads/article/file/Artigo24AGO2008.pdf>> Acesso em 01 set. 2015.

INCROPERA, Frank P.; DE WITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

J. I. P. M. Japanese Institute of Plant Maintenance. TPM frequently asked questions. 2002. Disponível em <www.jipm.or.jp/en/home> Acesso em 10 out 2011.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.

MARTINELLI JÚNIOR, L. C. **Transferência de Calor Parte V**: Trocadores de Calor. 2000. Trabalho Acadêmico – Unijuí, Ijuí.

MONCHY, F. **A Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 1987.

MORAES, P.H.A. **Manutenção Produtiva Total**: estudo de caso em uma empresa automobilística. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) – Departamento de Economia, Contabilidade e Administração,

Universidade de Taubaté, Taubaté. Disponível em: <<http://migre.me/4FEPO>>. Acesso em 01 set. 2015

MORAES, P.H.A. **Manutenção Produtiva Total**: estudo de caso em uma empresa automobilística. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) – Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté. Disponível em: <<http://migre.me/4FEPO>>. Acesso em 04 set. 2015. MOUBRAY, J. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade**. São Paulo: Aladon, 1996.

NETTO, W. A. C. **A Importância e a Aplicabilidade da Manutenção Produtiva Total (TPM) nas Indústrias**. 2008. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. *Revista Gestão Industrial*. Vol.4, n.2, 2008.

SABINO, Ricardo Schayer. **Inspeção de Feixes Tubulares de Trocadores de Calor**. 2008. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)–Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002. 703 p.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. Saiz. **Refrigeração Industrial**. 2ª ed.

TAVARES, L. A. **Administração Moderna de Manutenção**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Novo Pólo, 2000.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Departamento de Engenharia Mecânica. **Trocadores de Calor**: documento de trabalho. Belo Horizonte. Disponível em : <<http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema074/trocador/index.htm>>. Acesso em: 26 abr. 2015

WYREBSK, J. **Manutenção Produtiva Total**. Um Modelo Adaptado. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta98/jerzy>>. Acesso em: 01 set. 2015.