



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO PARA REPARO EMERGÊNCIAL EM DUTOS SEM PARADA DE LINHA

Rodrigo Albani Queiroz, roalbani@iprj.uerj.br
Eduardo Martins Sampaio, esampaio@iprj.uerj.br
Ney Robson Rohem, nrohem@iprj.uerj.br
Valber Azevedo Perrut, vperrut@petrobras.com.br

Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Instituto Politécnico,
Rua Alberto Rangel s/número, Vila Nova, Nova Friburgo, RJ
Caixa Postal: 97.282
CEP: 28.630-050

***Resumo:** Apresentamos neste trabalho o desenvolvimento e construção de um equipamento voltado para estanqueidade de vazamento em tubulações sem a necessidade de parada de linha. Este projeto foi desenvolvido pelo Laboratório de Adesão e Aderência – LAA do IPRJ/UERJ em parceria com o CENPES/PETROBRAS/TRANSPETRO. O processo de estanqueidade acontece através da cravação no duto de um Mecanismo de Reparo (MR). Os testes foram realizados para uma pressão hidrostática de até 200 bar, com diâmetro de furos de 16 mm e espessuras mínimas de parede de até 5 mm em tubulações com o diâmetro nominal de 12” e 6, demonstrando através dos resultados dos testes que o equipamento está apto para trabalho em campo.*

***Palavras-chave:** Reparo de tubulações; Estanqueidade; Projeto de equipamentos; Teste Hidrostático;*

1. INTRODUÇÃO

Após ter sido estudado várias técnicas atualmente aplicadas no reparo de tubulações, concluiu-se a necessidade do desenvolvimento de mecanismos eficazes que dispensem a necessidade da “parada de linha”, ou seja, técnicas capazes de cumprir a tarefa de reparar danos transpassantes em tubulações transportadoras de fluidos, mantendo continua suas atividades durante o estancamento do vazamento.

O LAA em parceria com a Petrobras desenvolveu o projeto: “Desenvolvimento e Construção de Equipamentos usados no Reparo de Dutos”. Uma das metas do projeto, foi desenvolver um equipamento para reparo de danos transpassantes em tubulações de transporte de fluidos sem a necessidade de parada de linha.

2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os reparos de estruturas que transportam ou comportam fluidos podem ser divididos, para efeitos didáticos, em dois tipos: **reparos em danos sem vazamento** (perda de espessura interna ou externa, amassamentos, etc) e **reparos em dutos com danos transpassantes** (tal como furos, trincas etc.) causando vazamento. Este último, por sua vez, o reparo pode ser dividido em duas fases: **estanqueidade**, visando bloquear o vazamento causado pelo dano transpassante e o **reforço estrutural**, visando dar à estrutura sua condição original de trabalho.

Apesar desta divisão, há que se compreender que no caso de um dano transpassante, a região em torno do dano sofre, na maioria dos casos, um comprometimento de sua resistência mecânica. Também devemos considerar que, em algumas situações de dano transpassante, existe uma perda de espessura em volta de todo o diâmetro da tubulação. No aspecto estanqueidade, é fundamental que o reparo tenha alta confiabilidade e, posteriormente, o reforço estrutural em volta de toda tubulação.

As técnicas atualmente utilizadas como reparo, baseiam-se nos seguintes princípios:

Substituição da área com dano: trata-se do recorte e substituição da região danificada, sendo os principais problemas relacionados a esta técnica: a necessidade de um esvaziamento do fluido contido na estrutura; o tempo gasto para o reparo; a grande demanda por mão de obra; o custo elevado e a possibilidade de implicar em isolamento de uma área considerável, por exemplo, no caso de reparos em tubulações enterradas, ou no caso de vasos, tanques e tubulações em refinarias e em plataformas de petróleo. Uma variante deste método é apresentada na patente RU2191317.

Colagem (adesivo): trata-se de recobrir a região danificada (furos ou trincas) com adesivos, geralmente epóxi, sendo os principais problemas desta técnica: o fato de a pressão do fluido agir sobre o adesivo (que é aplicado na parede externa da estrutura), podendo provocar um descolamento do mesmo; geralmente em um dano transpassante, a região em torno do dano apresenta uma diminuição da sua resistência mecânica, a qual não é restaurada pelo adesivo. O adesivo, após o reparo, estará em contato permanente com o fluido transportado ou comportado pela estrutura, podendo sofrer um desgaste por ataque químico. Apesar de alguns produtos comerciais apresentarem soluções de aplicação sem a necessidade de esvaziamento do fluido contido pela estrutura, a falta de tratamento superficial para criação das macro-rugosidades e das micro-rugosidades, a não retirada dos resíduos superficiais (graxas, óleos, umidade etc...) e o contato do adesivo com o fluido, comprometem tanto o processo de cura quanto a aderência.

Colagem (adesivo + placa): trata-se de recobrir a região danificada com uma placa. Essa placa, geralmente do mesmo material da estrutura danificada, é fixada à estrutura através de colagem. Esse tipo de reparo tem maior resistência aos esforços de descolamento do que o processo de colagem (adesivo) citado acima, além de auxiliar na recuperação da resistência mecânica da região em torno do dano. Entretanto, todos os demais problemas relacionados ao processo de colagem acima mencionados permanecem.

Concretagem: trata-se de recobrir a região danificada com um bloco de concreto. Esse é um dos mais antigos métodos de reparo. Tal método tem seu uso restrito, devido às condições de apoio necessárias durante a cura deste concreto; acréscimo de peso à estrutura que está sendo reparada, inviabilizando o uso na maioria das estruturas suspensas; permeabilidade para alguns fluidos, impedindo uma estanqueidade eficaz; inviabilidade de se efetuar reparos futuros no mesmo local.

Soldagem: Semelhante aos processos de colagem (adesivo ou adesivo + placa), a soldagem apresenta como principais problemas: questões de segurança no uso em estruturas que transportam ou comportam fluidos inflamáveis, fragilização da área soldada, por criar uma zona termicamente afetada.

Reparo com Materiais Compósitos: Atualmente o emprego de materiais compósitos de matriz polimérica como reforço em estruturas nas indústrias do petróleo e aeronáutica tem se tornado uma prática industrial comum. O uso destes reforços compreende desde recobrimento de superfícies com defeitos até o reforço estrutural, com o objetivo de aumentar a vida útil de equipamentos e minimizar custos de manutenção. A colocação de um reforço de materiais compósitos de matriz polimérica sobre as estruturas metálicas convencionais é feita por colagem. Entre as vantagens deste tipo de união de materiais pode-se destacar a ausência de aporte de calor durante o processo de junção, o que implica que a microestrutura do substrato não sofre alterações. Outra grande vantagem do ponto de vista da implementação da união por adesão é que o custo do processo é baixo, tendo em vista que os equipamentos necessários para promover a união por adesão são, geralmente, menos sofisticados que os normalmente empregados nos processos usuais de junção de materiais. Em setembro de 2006, foi publicada a norma ISO 24817TS, "REPAROS DE COMPÓSITOS PARA DUTOS – QUALIFICAÇÃO E PROJETO, INSTALAÇÃO, TESTES E INSPEÇÃO" um compêndio destinado ao projeto de reparos permanentes para dutos utilizando material compósito. A norma prevê o reparo de todos os tipos de defeitos tais como: perdas de espessura por corrosão e/ou erosão, amassamentos, trincas, dentes e até mesmo danos transpassantes.

Em suma, os métodos de reparo em dutos com dano transpassante utilizados atualmente têm como principais problemas:

1- Durante o processo para promover estanqueidade, à exceção do método de substituição da região danificada, todos os demais métodos de reparo citados acima tem em comum a fixação do reparo somente pelo lado externo da região reparada. Isto provoca uma ação da pressão do fluido comportado ou transportado, no sentido da remoção do reparo.

2 - Os métodos de colagem (adesivo, adesivo + placa e/ou luva de compósito) necessitam de tratamento prévio da superfície ao redor do dano para garantir sua eficiência, o que não é possível com o fluido vazando.

3 - A área de aplicação do reparo tende a ser muito superior à área danificada, implicando num gasto excessivo de material.

4 - Há uma necessidade de isolamento de áreas e um uso intensivo de mão de obra e de material, implicando em alto custo por reparo.

5 - Nos métodos de colagem (adesivo, adesivo + placa e /ou luva de compósito), o contato permanente do material do reparo com o fluido comportado ou transportado pela estrutura reparada, pode provocar um desgaste por ataque químico, sendo acentuado no caso de materiais poliméricos.

6 - Normalmente as etapas de estanqueidade e de reforço estrutural estão dissociadas, diminuindo a confiabilidade do reparo.

3. PROPOSTA DO PROJETO

Trata-se de um Mecanismo de Reparo (MR), depositado em patente sob número PI 0402872-4, conforme demonstrado na figura 2, caracterizado por possuir uma Camisa Deformável (Figura 1 – item 2); um Pino Cônico (Figura 1 – item 1) em seu interior que ao ser tracionado pela Porca (Figura 1 – item 3), expande a Camisa Deformável até que o vazamento seja sanado. Testes realizados mostraram a eficiência satisfatória do dispositivo demonstrado abaixo. Pressões de até três vezes a pressão estipulada no projeto foram suportadas pelo reparo sem problemas. Após verificação da eficiência do MR, surgiu então a necessidade desenvolver um equipamento capaz de realizar a cravação deste dispositivo com a linha em operação.

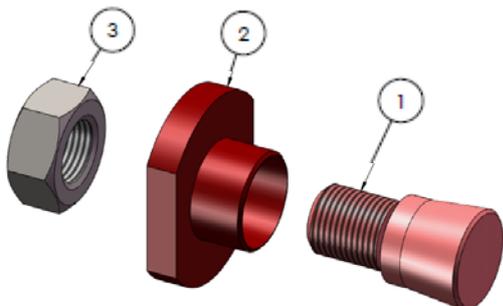


Figura 1 – MR, vista explodida

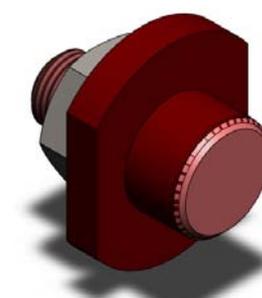


Figura 2 – MR, vista isométrica

4. EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

Após vários projetos e protótipos, foi desenvolvido um equipamento e depositado patente sob número PI 0603009-2, capaz de executar o reparo, ou seja, cravar o MR tendo como principal objetivo manter a linha em operação durante o processo de estanqueidade.

Este equipamento foi testado em tubulações de aço com 6 (seis) e 12 (doze) polegadas que possuam danos, transpassantes ou não transpassantes, que sejam contidos em um diâmetro de 16 mm. A pressão de trabalho da linha deve ser de, no máximo, 60 bar.

O procedimento de reparo baseia-se no princípio de transformar um dando com formato totalmente irregular em um furo passante com diâmetro padronizado, no caso 16 mm. Em seguida, a ferramenta de furação é substituída por outra, responsável por conduzir o MR até a superfície da tubulação, inserindo-o no furo previamente feito. A seguir veremos um pouco mais sobre o equipamento de reparo de dutos (ERD), seus componentes e conjuntos

Conjunto Posicionador (Figura 3 – item 1): O primeiro conjunto a ser montado sobre a tubulação tem o papel de fixar e centralizar o equipamento sobre a tubulação. Com auxílio de uma ponteira, o dispositivo é posicionado de forma a centrar o equipamento em relação ao dano.

Após fixar as correntes do conjunto, a válvula é ajustada e fixada sobre o dano. A válvula é então fechada, controlando o vazamento. A partir desta etapa, dá-se início ao processo de instalação do MR que promoverá estanqueidade permanente do ponto reparado.

Conjunto Câmara Superior (Figura 3 – item 2): Este conjunto é responsável pela troca de ferramentas de trabalho durante a operação de reparo. Acoplado a este conjunto, encontra-se uma conexão que permite a comunicação entre o ambiente externo e o interior da Câmara Superior. Esta conexão permite controlar a pressão interna do equipamento ou coletar fluidos remanescentes da tubulação danificada ou injetar fluidos inertes.

Conjunto Transmissão (Figura 3 – item 3): Este conjunto é responsável por transmitir o torque do motor pneumático para as ferramentas, como também, através das cremalheiras, movimentar as ferramentas no interior da Câmara Superior no sentido axial, permitindo ao operador ter a localização das extremidades das ferramentas.

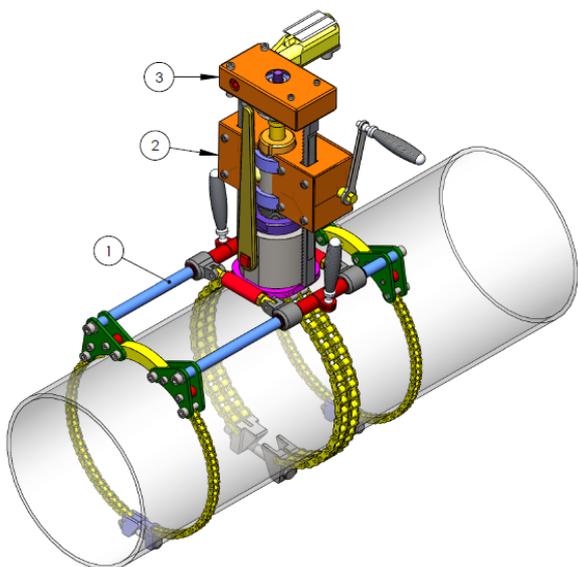


Figura 3 – ERD (Equipamento de Reparo em Dutos), foto de projeto

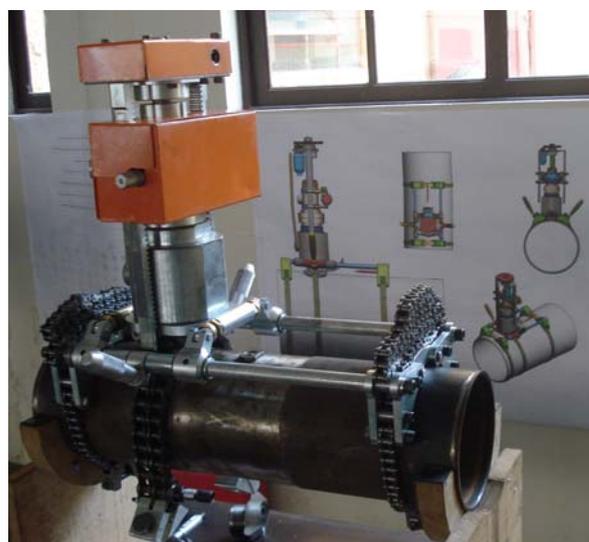


Figura 4 – ERD (Equipamento de Reparo em Dutos), foto usinado

5. TESTES E RESULTADOS OBTIDOS

De acordo com os parâmetros de projeto, o maior comprimento de dano a ser reparado seria de 10 mm, ou seja, o dano deveria estar contido numa circunferência de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Entretanto, após pesquisa e relatos de técnicos na área de inspeção, uma trinca de 10 mm na superfície da tubulação implica que, nas regiões vizinhas à trinca, existe também uma perda de espessura. Assim, para garantir uma melhor ancoragem do MR à parede da tubulação, foi padronizado o diâmetro do reparo em 16 mm. Os mecanismos de reparos com diâmetros maiores ou menores que 16 mm podem ser fabricados, sendo necessário para tal realizar mais testes de desempenho e o desenvolvimento de ferramentas adequadas às diferentes especificações do MR.

Para chegarmos a um MR eficiente, vários estudos foram realizados: tipo de material, as deformações, ângulo de ataque, dimensões, etc.

O Mecanismo de Reparo foi testado em corpos-de-prova (CPS) de tubulações de 12” e de 6” de diâmetro e com o comprimento de 600 mm. Nos CPS de 12”, devido a classe de pressão dos flanges, os testes hidrostáticos chegaram a uma pressão máxima de 60 bar. Já para os CPS de 6”, utilizando um sistema de flanges e tirantes desmontáveis (figura 5), as pressões chegaram até 200 bar. Nos CPS de 6” de diâmetro foram realizados dez testes hidrostáticos para cada espessura: espessura de parede nominal de 6,65 mm e espessuras de 6,0 e 5,0 mm usinadas nos CPS, a fim de simular perdas de espessura nas paredes das tubulações. Para cada espessura, o comprimento útil do MR foi alterado para espessura de parede mais 1,5 mm. O maior ressalto interno a tubulação obtido devido ao mecanismo de reparo foi de 2,8 mm. Na tabela 1 estão listadas os resultados finais dos testes hidrostático versus a espessura de parede para tubulações de 6”.

Tabela 1 – Resultado final dos testes hidrostáticos

| Espessura de parede | Pressão média máxima [MPa] (10 CPs) | Observação |
|---------------------|--|-----------------------|
| 6,65 | 20 ± 1 (200 ± 10 bar) | Início de gotejamento |
| 6 | 16 ± 1 (160 ± 10 bar) | Início de gotejamento |
| 5 | 16 ± 1 (160 ± 10 bar) | Início de gotejamento |



Figura 5 – Corpo de Prova, teste hidrostático do MR



Figura 6 – Equipamento para testes hidrostáticos

É importante frisar que nos testes hidrostáticos acima, após o aparecimento de gotejamento na região reparada, as pressões continuaram a ser aumentadas até um vazamento contínuo. Em nenhum dos testes hidrostáticos ao longo do projeto ocorreu arrancamento do mecanismo de reparo do furo. Testes de *push-out* realizados na máquina de ensaio universal, demonstraram que a força necessária para a extração do MR aplicado ao tubo foi de 7200N, o que dá uma tensão de 37,5 MPa (375bar).

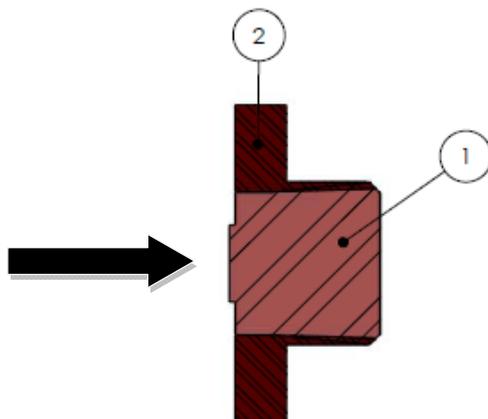


Figura 7 – Diagrama do teste push-out

Foram realizados quatro testes no Centro de Tecnologia em Dutos (CTDUT) para a qualificação do equipamento. O procedimento ocorreu em uma tubulação de 12". Foram simulados quatro furos com dimensões diferentes distribuídos ao longo do comprimento e perímetro da tubulação, sendo o mais crítico entre eles localizado na parte inferior do tubo (figura 8). Todas os furos foram reparados com sucesso pelo equipamento, sendo necessário em média um tempo de 40 minutos por reparo para execução de todo o processo. Finalizado os testes, foi concluído que o equipamento está capacitado a realizar reparos em qualquer posição no perímetro da tubulação.



Figura 8 – Dano na parte inferior da tubulação sendo reparado



Figura 9 – Tubulação reparada com MR

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos é possível verificar que o ERD obteve aprovação total na realização de reparos dos furos em qualquer posição ao longo do perímetro da tubulação. Vimos, segundo relatos de técnicos inspetores, que, em geral, pequenos danos superficiais causados por corrosão, são acompanhados por regiões comprometidas maiores internamente, sendo então necessário um diâmetro de reparo de 16 mm para um dano contido em um diâmetro circunferencial igual ou menor que 10mm.

Embora o MR esteja validado para pressões de até 150bar, deve-se ter cuidado com a segurança do operador para pressões superiores à 50bar por ser considerado ariscado o manuseio do equipamento.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CENPES/PETROBRAS/TRANSPETRO, a FAPERJ e ao CNPq pelo apoio.

8. REFERÊNCIAS

- JAMES M. GERE; Mecânica dos Materiais, tradução: Luis Fernando de Castro Paiva; revisão técnica: Marco Lucio Bittencourt;
- H.H. MABIE/F.W.OCVIRK; Mecanismos, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- ROBERT L. NORTON; Projeto de Máquinas;
- CARLOS A. G. DE MOURA BRANCO; Mecânica dos Materiais, 3ª edição, edição de: FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN;
- KURT M. MARSHEK / ROBERT C. JUVINALL; Projetos de Componentes de Máquinas, 4ª edição, editora LTC;
- E. RUSSEL JOHNSTON JR / FERDINAND P. BEER; Resistência dos Materiais, 3ª edição, editora: Makron Books;
- ROBERT W. FOX / ALAN T. MCDONALD/ PHILIP J. PRITCHARD; Introdução a Mecânica do Fluidos, 6ª edição, editora: LTC, ano: 2006;
- A.L CASILLAS; Máquinas, Formulário Técnico; tradução Raimundo Nonato Corrêa, editora: Mestre Jou, montagem: Leda Mítico Uchida.
- ENGENHEIRO INDUSTRIAL FRANCESCO PROVENZA – CREA 11.838/D; Projetista de Máquinas;
- ROHEM, NEY ROBSON FERREIRA; Estudo para o desenvolvimento de reparos com materiais compósitos para dutos e implantação do laboratório de materiais compósitos do IPRJ / Ney Robson Ferreira Rohem. – 2008.
- SO 24817-TS:2006,"Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Composite repairs for pipework — Qualification and design, installation, testing and inspection."

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF A EQUIPMENT FOR EMERGENCY REPAIR IN PIPELINES KEEPING LINES IN OPERATION

Rodrigo Albani Queiroz¹, roalbani@iprj.uerj.br
Eduardo Martins Sampaio¹, esampaio@iprj.uerj.br
Ney Robson Rohem¹, nrohem@iprj.uerj.br
Valber Azevedo Perrut², vperrut@petrobras.com.br

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Instituto Politécnico,
Rua Alberto Rangel s/número, Vila Nova, Nova Friburgo, RJ
Caixa Postal: 97.282
CEP: 28.630-050

²Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes)
Av. Horácio Macedo, 950, Cidade Universitária. Rio de Janeiro - RJ.
Cep: 21.941-915

Abstract: *To enable the growth of the oil and gas industry today in Brazil, it is necessary to develop new technologies that can solve the challenges found. Among them, we can point out the maintenance of the existing pipelines to transport these fluids. The pipe walls, both internally and externally, are exposed to an aggressive environment which can progress to an thickness loss and, in the future, induce to a undesirable leak, and consequently, to environmental damage. We can also emphasize the financial setback involved in shutting off a line to do maintenance. This paper presents the development and construction of an equipment destined to repair leaks in pipes while the line in operation. This project was developed by Laboratório de Adesão e Aderência – LAA of IPRJ/UERJ in partnership with CENPES/PETROBRAS/TRANSPETRO. The repair process occurs with an application of a repair mechanism (MR). This MR was tested in hydrostatic pressures until 200 bar, for holes with diameters of 16 mm and minimum wall thickness of 5 mm in pipes for pipes with diameter of 12 inches and 6 inches. In the sequence, the test results will demonstrate that the equipment is able for field work.*

Keywords: *repair of pipelines; leak; project equipment; hydrostatic test;*