
Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Sistema de Junta de Campo Soldados por Eletrofusão para Dutos Isolados Termicamente

Erik B. Nunes^a, Vinicius Giorgetti^b

Abstract

In order to make transportation of oil and by-products more effective, heating is necessary to increase fluidity. Therefore, the use of thermally insulated pipelines is imperative. In the pipelines that carry heated products it is necessary to apply a thermal insulation system to avoid heat losses. For this purpose, the most used system consists of the application of an anticorrosive coating, followed by a polyurethane foam (thermal insulation) and an outer layer of high density polyethylene. Basically, the specified systems for field joints consist of joints with heat shrinkable sleeves and electrofusion welded. This paper has the purpose of presenting the qualification result of the electrofusion weld joint system and presents advantages and disadvantages of the application of this system in a pipeline work

Keywords: corrosion, coating, electrofusion, pipeline, thermal insulation.

Resumo

Para que o transporte de petróleo e derivados seja mais efetivo, é necessário o seu aquecimento para aumentar a fluidez. Sendo assim, a utilização de dutos isolados termicamente é imprescindível. Nos dutos que transportam produtos aquecidos é necessária a aplicação de um sistema de isolamento térmico para evitar perdas de calor. Dentro dessa finalidade, o sistema mais utilizado consiste da aplicação de um revestimento anticorrosivo, seguido de uma espuma de poliuretano (isolante térmico) e uma camada externa de polietileno de alta densidade. Basicamente, os sistemas especificados para de juntas de campo consistem de juntas com mantas termocontráteis e soldadas por eletrofusão. Este trabalho tem a finalidade de apresentar resultado de qualificação do sistema de junta de campo soldado por eletrofusão e apresentar vantagens e desvantagens da aplicação deste sistema em uma obra de duto.

Palavras-chave: corrosão, revestimento, eletrofusão, dutos, isolamento térmico.

^a Engenheiro de Equipamentos - PETROBRAS

^b Engenheiro de Terminais e Dutos - TRANSPETRO

Introdução

Um dos meios mais seguros e econômicos de se transportar petróleo e seus derivados é o sistema de dutos. Porém, nos dutos que transportam produtos aquecidos é necessária a aplicação de um sistema de isolamento térmico para evitar as perdas de calor. Para aplicações *onshore*, o material mais utilizado é a espuma de poliuretano (PU) com uma camisa de polietileno (PE) que atua como barreira a penetração de umidade, além de conferir proteção à espuma contra danos mecânicos. É importante que o sistema aplicado na junta de campo tenha um desempenho similar ao sistema aplicado no tubo. A figura 1 ilustra o esquema deste sistema de junta de campo.

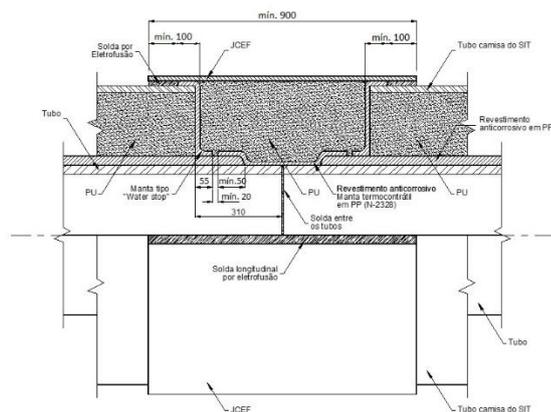


Figura 1 – Sistema de junta de campo de eletrofusão

O sistema de isolamento térmico de junta de campo soldada de tubos é constituído basicamente pelo sistema de casings ou mantas termocontráteis e junta-camisa de eletrofusão. Os sistema de eletrofusão tem a vantagem da camisa da junta de campo ser soldada a camisa do tubo.

Metodologia

O processo de homologação da Engenharia de dutos engloba qualificação da matéria-prima e qualificação do sistema aplicado. A qualificação consiste na verificação do atendimento aos requisitos técnicos em Norma ou Especificação Técnica pertinente. O processo de homologação permite que as qualificações sejam uniformes e intercambiáveis entre os empreendimentos, permitindo assim que os revestimentos aplicados e qualificados previamente possam ser utilizados em novos dutos com número reduzidos de ensaios, independentemente do solicitante original da qualificação. Desta maneira, a qualificação implica em redução de custo e prazo em projeto de dutos rígidos. Neste caso, a qualificação é realizada conforme requisitos estabelecidos por uma ET que tem como base a norma EN 489.

Foi realizada qualificação de junta-camisa de eletrofusão com polietileno de alta densidade (PEAD) classificada como PE 100, conforme norma ISO 12162, ou seja, sua tensão circunferencial a 50 anos na temperatura de 20°C (MRS – *minimum required strength*), definida pelo método de extrapolação padrão ISO TR 9080, através de determinação da sua tensão hidrostática de longa duração, com limite inferior de confiança (LCL) de 97,5%.

Posteriormente, este sistema de junta-camisa PE 100 foi instalada em uma obra de dutos e foi analisada vantagens e desvantagens da aplicação deste sistema.

Para a qualificação de junta-camisa de eletrofusão para aplicação dutos isolados termicamente, devem ser seguidos os requisitos das Tabelas 1 e 2. A tabela 1 trata dos ensaios a serem realizados na junta-camisa e polietileno. A tabela 2 trata dos ensaios a serem realizados no sistema aplicado.

Tabela 1 – Propriedades da junta-camisa de eletrofusão

Propriedades	Unidades	Valores limites	Método
Dispersão de Pigmentos	-	< Grau 3	NBR ISO 18553
Densidade	g/cm ³	> 0,94	ISO 1183
Índice de fluidez (190°C/5kg)	g/10 min	0,2 ≤ MFI ≤ 1,4	ISO 13953
Estabilidade térmica (OIT)	min	≥ 20	EN 728
Teor de negro de fumo	%	(2,5 ± 0,5)	ISO 6964
Alongamento na ruptura	%	mín 350	EN 253
Resistência a tensões ambientais	h	mín 200	ISO 16770
Tração na junta soldada	-	Não apresentar ruptura frágil	EN 253
Pressão hidrostática a 80°C – 5,5 MPa	h	≥ 165	ABNT NBR 14463
Reversão térmica	%	≤ 3	ABNT NBR 14683

Tabela 2 – Requisitos do conjunto aplicado

Propriedades	Unidades	Valores limites	Método
Resistência ao impacto	J	Sem trinca	EN 253
Tensão do solo	-	Sem descolamento ou danos	EN 489
Estanqueidade	-	Sem vazamento	EN 489
Tensão de cisalhamento tangencial	MPa	≥ 0,20	EN 253
Inspeção visual	-	Avaliar achatamento, arranhões	EN 253

Resultados e discussão

Dispersão de Pigmentos

Este ensaio descreve a dispersão dos pigmentos observados na amostra por meio de microscópio.com aumento de 100x. Observou-se que a amostra era homogênea. Não foi observada presença de estrias, aglomerações ou espirais. Observou-se grau 1 na avaliação (figura 2).



Figura 2 – Dispersão de pigmento

Densidade

Foi verificada a densidade do polietileno. Foram utilizadas 3 amostras com massa de 0,5 a 5 g. A densidade da amostra foi obtida pela média aritmética dos resultados obtidos: $0,958 \text{ g/cm}^3$, ou seja, trata-se de um PE de alta densidade (figura 3).



Figura 3 – Densidade da amostra de PE

Índice de Fluidez

O valor medido do índice de fluidez do composto, ou da resina base de polietileno PE, deve ser inferior ou igual a 1,3 g/10 min, quando determinado à temperatura de 190°C e peso de 5 kg. O índice de fluidez obtido foi de 0,25 g/10 min (Figura 4).



Figura 4 – Ensaio de Fluidez

Estabilidade Térmica

A estabilidade térmica do composto, medida através do ensaio de determinação do Tempo de Oxidação Indutiva (OIT), deve ser de no mínimo 20 minutos, quando testado a 210°C (figura 5). A amostra foi extraída da superfície interna do tubo. O resultado obtido foi de 126 minutos. Esta propriedade garante resistência a termo-oxidação.



Figura 5 – Equipamento para determinação de OIT

Teor de negro de fumo

Foi determinado o teor de negro de fumo na camisa de PE. O valor obtido foi de 2,1 %, obedecendo os requisitos estabelecidos na especificação. O negro de fumo garante a resistência a fotodegradação.

Alongamento na ruptura

Foi realizado ensaio de tração e verificado o alongamento na ruptura dos corpos de prova extraídos na parede da junta-camisa. O resultado obtido foi superior a 500 % (figura 6).



Figura 6 – Ensaio de Tração

Resistência a tensões ambientais

Os corpos de prova foram retirados na direção axial da junta-camisa. O ensaio foi realizado na tensão de 4MPa, temperatura de 80°C e 2% de concentração de tensoativo Igepal CO630. O tempo para falha foi superior a 200h. Determinadas substâncias (agentes tensoativos) induzem o polietileno a ruptura frágil, sendo este efeito acelerado sob temperaturas mais altas. Estes agentes agem nos pontos de tensão do material, diminuindo as forças de ligação entre

crystalitos e provocando a ruptura. Este fenômeno ocorre quando o material está tensionado. O agente tensoativo age nos pontos de concentração de tensões, provocando uma falha e propagando-a em fendas e trincas. Detalhe do ensaio nas figuras 7 e 8.



Figura 7 – Detalhe do entalhador

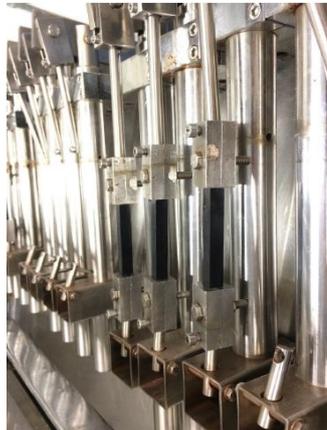


Figura 8 – Corpos de prova no equipamento

Tração na junta soldada

Foi realizado ensaio de tração na região de junta soldada por eletrofusão. Não houve presença de fratura frágil (figura 9). A fratura frágil apresenta-se na forma de microfissuras de arestas afiadas perpendiculares ao esforço principal.



Figura 9 – Junta soldada

Pressão Hidrostática

Foi realizada ensaio na junta soldada sob pressão hidrostática a 80°C a 5,5 MPa. Buscou-se avaliar ocorrência de ruptura do tipo frágil mais influenciável pelo peso molecular e a distribuição do peso molecular, sendo mais resistente ao stress cracking quanto maior for o peso molecular e menos larga sua distribuição. (figura 10).



Figura 10 – Junta soldada após pressão hidrostática

Reversão Térmica

Foi realizado ensaio de reversão térmica na direção longitudinal da junta-camisa. Após o teste a superfície não apresentou qualquer trinca ou bolhas.

Resistência ao impacto

Foi realizado ensaio de impacto no sistema de junta soldada. O ensaio foi realizado a 0°C. Uma massa de 3 kg a uma altura de 2 m. O diâmetro do punção hemisférico era de 25 mm. Não observou qualquer dano na camisa de PE.

Tensão do solo

Foi realizado ensaio de tensão do solo, conhecido também como caixa de areia, com o intuito de simular o movimento do duto aquecido em um trecho enterrado. Posteriormente inspecionou visualmente a junta soldada e foi verificou se a junta resistiu os esforços. Não foi constatado qualquer dano no sistema (figura 11).

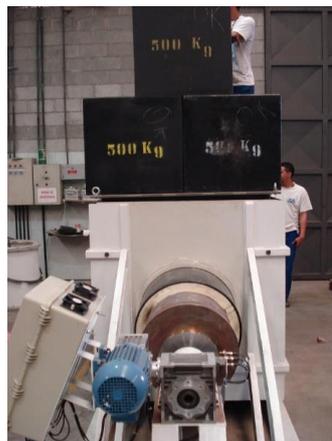


Figura 11 – Ensaio de caixa de areia

Estanqueidade

Após o ensaio de caixa de areia, para complementar a inspeção do sistema, a junta soldada foi submetida a uma pressão externa de 30 kPa por 24 horas a 30°C. Não foi constatada qualquer permeação de água (figura 12).



Figura 12 – Ensaio de estanqueidade

Tensão de cisalhamento

Foi realizado ensaio de cisalhamento no sistema de junta a 23°C e o sistema apresentou resistência ao cisalhamento superior ao requisitado.



Figura 13 – Ensaio de cisalhamento

Inspeção visual

Foi realizada inspeção visual no sistema aplicado. Não houve qualquer defeito que ocasionasse qualquer influência em suas propriedades.

Os resultados obtidos neste processo de qualificação atenderam o especificado. Vale ressaltar que o PE100 apresentou propriedades superiores ao PE80 qualificado em um outro processo, principalmente em relação a resistência as tensões ambientais.

Aplicação do sistema em obra de dutos

O sistema de junta-camisa de eletrofusão foi aplicada em uma obra de reabilitação de dutos. A substituição do trecho de duto teve uma extensão de 13 km. O duto possui diâmetro de 16 polegadas e transporta óleo combustível operando sob temperatura de 90°C a 100°C.

O sistema consiste da aplicação inicial de um revestimento anticorrosivo com preparação prévia da superfície por meio de jateamento abrasivo padrão metal quase branco (figura 14).



Figura 14 – Jateamento abrasivo na junta soldada

No sistema PETROBRAS usualmente é especificado a aplicação de manta termocontrátil conforme PETROBRAS N-2328 que atua como revestimento anticorrosivo (figura 15 e figura 16).



Figura 15 – Aplicação de *primer* epóxi



Figura 16 – Manta termocontrátil aplicada

Após a aplicação do revestimento anticorrosivo, aplica-se a junta-camisa de PEAD. Esta camisa é soldada na camisa de PEAD do tubo por meio do processo de eletrofusão. As tiras de eletrofusão podem vir incorporadas internamente a junta-camisa ou soldadas em separado à camisa de PEAD do tubo. Nesta obra, boa parte das tiras foram soldadas previamente na camisa do tubo o que afetou de forma negativa a produtividade da obra. O ideal é que essas tiras já estivessem incorporadas à junta-camisa.

Outro ponto importante que foi observado está relacionado as mantas *waterstop*. Essas mantas são instaladas nas extremidades dos tubos retos pre-isolados em fábrica. De certa forma, essa manta dificultou, em alguns casos, a instalação da junta-camisa. O que poderia ser avaliado para projetos futuros, seria fornecimento de juntas-camisa monopartidas. Assim, no campo, realizaria soldagem circunferencial e também longitudinal. Outra possibilidade seria avaliar outras alternativas de *waterstop* a serem instaladas nas extremidades dos tubos, como por exemplo, selante de silicone.

Após a soldagem da junta-camisa, a espuma de PU rígida é injetada por máquina própria, onde os componentes se misturam na proporção adequada indicada pelo fabricante. O tempo de injeção deve ser calculado de forma a obter adequada densidade e propiciar o completo preenchimento da espuma no espaço anular entre o tubo de aço e a camisa. Segue na figura 17 o sistema de junta-camisa instalado.



Figura 17 – Sistema de Junta-camisa instalado

Este sistema possui a vantagem de ser fabricada com espessura similar a espessura do tubo camisa de PE instalado nos tubos retos em fábrica. Há uma espessura mínima a ser atendida em relação as camisas de PE, assim é importante que o sistema a ser adotado nas juntas possuam propriedades similares. Além disso, há uma boa adesão deste sistema com o tubo camisa do tubo por utilizar processo de soldagem. Outras alternativas utilizam adesivo, onde a ancoragem, em tese, é inferior a uma união soldada.

Conclusões

Seguem as conclusões acerca do processo de qualificação do sistema de junta-camisa soldada com eletrofusão.

- O PE 100 atendeu os requisitos estabelecidos em especificação, assim como a junta-camisa de PEAD.
- O PE 100 apresentou propriedades superiores ao PE 80 qualificado previamente e utilizado como matéria-prima do tubo camisa utilizado nos tubos retos.
- O sistema de junta-camisa permite que a camisa possa ser fabricada com alta espessura similar a espessura especificada para o tubo camisa utilizado no tubo reto.
- A junta-camisa de PEAD apresentou boa aplicabilidade em uma obra de dutos, mas ainda assim, melhorias importantes foram identificadas.

- Observou-se a importância das tiras de eletrofusão já serem previamente incorporadas a junta-camisa.
- Outras alternativas de *waterstop* deve ser considerada ao se instalar este tipo de sistema para as juntas de campo de forma a não dificultar a procedimeto de instalação.