



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

DESCRIPÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE UMA LINHA DE CIRCULAÇÃO DE PETRÓLEO EM ESCALA REALÍSTICA PARA O ESTUDO DA DEPOSIÇÃO DE PARAFINA EM TUBOS DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO

Itã Teodoro ^{*1}, Vitor Pinheiro Ferreira ², Ivanoé João Rodowanski ², Vitor Leão Filardi ², Carlos Eduardo Tanajura da Silva ², Luis Carlos Simões Soares Junior ² e Iuri Muniz Pepe ²

^{*1} Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica – Universidade Federal da Bahia
Av. Ademar de Barros s/n Ondina, Salvador, Bahia, Brasil
E-mail: ita.fisica.ufba@gmail.com

² Laboratório de Propriedades Óticas, Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia

RESUMO

A deposição de sólidos orgânicos em tubulações é um dos problemas que enfrenta a indústria de petróleo na produção, transporte e armazenamento de petróleo cru. A temperatura inicial do aparecimento dos cristais é um dos fatores determinantes na indução da precipitação de parafina, já que o mecanismo de sua cristalização e precipitação é uma função da concentração de parafinas dissolvidas no petróleo e das condições termodinâmicas locais. Com a finalidade de diminuir os gastos de energia e recursos financeiros, a indústria busca desenvolver e colocar a disposição tecnologias para prevenir a formação de depósitos de parafinas nos sistemas de produção e transporte de petróleo.

Este trabalho descreve a montagem de um sistema, com dimensões reais, capaz de realizar ensaios de fluxo de petróleo em uma linha de dutos e simular as condições físicas que favorecem o aparecimento da deposição de parafina em suas paredes internas. Bombas promovem a circulação de petróleo pela linha de dutos e um sistema de troca de calor permite o resfriamento controlado em um segmento específico do tubo, assim a precipitação de parafina localizadamente ocorre. O sistema também foi equipado com um laboratório de apoio com infraestrutura de controle instrumentado e de tomada de dados.

Palavras Chaves: Deposição de Parafinas, Obstrução de Tubulações, Cristais de Parafina.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é um elemento importante na economia mundial e uma parte significativa da sua produção vem de extração marítima em lâminas d'água com centenas e até milhares de metros[1]. O procedimento de extração não é trivial e muitas vezes durante a sua condução e transporte o fluido atinge temperaturas diferentes ao longo da linha e os índices baixos da temperatura favorecem o aumento da viscosidade do óleo e também da precipitação da parafina contida do petróleo bruto[2]. Esse é um percalço para as indústrias petrolíferas, pois a cristalização da parafina causa obstrução da linha de transporte do fluido acarretando aumento da potência necessária para o bombeamento do óleo, diminuição da vazão e até bloqueio total do fluxo[3]. Métodos mecânicos de escovação através de *pig*, além de dissolução por ataques químicos ou aquecimento são alguns dos métodos que dispõe a indústria para combater e superar esse obstáculo na produção e transporte de óleo. É evidente que isso causa um aumento nos gastos de recursos financeiros das indústrias[1] [2] [3] [4] [5]. Centros de pesquisa se esforçam para entender cada vez mais os parâmetros que causam esse problema e desenvolver modelos cada vez mais realísticos que proporcionem maior precisão na previsão dos fenômenos ligados a obstrução de linhas de transporte de petróleo pela cristalização da parafina. Apesar disso ainda há uma visão limitada no entendimento do mecanismo que norteia o processo de deposição de parafinas em dutos de transporte de petróleo [1][2].

Esse trabalho descreve a montagem de uma linha de parafinação de dutos de petróleo em escala realística. O objetivo é a preparação de amostras de dutos controladamente parafinados. A parafinação ocorrerá através da circulação água de produção e óleo morto através de aproximadamente 80 metros de tubos ligados em série, interligados a bombas, válvulas e sensores de temperatura e vazão. Serão usadas como incitadores de deposição de parafina mudanças na temperatura do fluido, velocidade de fluxo e pressão hidrostática. Diferentes manobras poderão ser utilizadas buscando diferentes tipos de amostras.

2. LINHA DE PARAFINAÇÃO

A linha de parafinação é formada por tubos ligados em série, tanques para armazenamento de óleo, água e descarte, uma calha de madeira e fibra de vidro, sensores de temperatura, bombas d'água e óleo, unidade de refrigeração, unidade de aquecimento, unidade de controle e processamento de dados.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

2.1 Elementos de tubos

Cada elemento de tubo de aço utilizado na montagem da linha de parafinação possui 9 metros de comprimento e diâmetro de 2 7/8 de polegada. Seis trechos retos de tubos são dispostos paralelamente e curvas de 1,2 metros configuram o circuito em zigue-zague. Os tubos são unidos entre si por flanges. Um dos seguimentos possui um comprimento menor e está disponível para ser retirado da linha e substituído. Esse é o tubo amostra. Um dos seguimentos retos da linha está contido no volume interno de uma calha de madeira e fibra de vidro onde contem água gelada o que incitará a deposição da parafina no tubo amostra. Imagens do circuito da linha de parafinação e do tubo amostra podem ser vistas na Figura 1.



Figura 1 Fotografia dos trechos retos da linha de parafinação a direita e detalhe do tubo amostra a esquerda

2.2 Tanques

Quatro tanques foram utilizados como reservatórios dos fluidos que irão circular pelo sistema. Dois deles, os mostrados a esquerda da Figura 2, são de fibra de vidros e possuem a capacidades de armazenar 600 litros de óleo cada. Esses tanques estão diretamente ligados a linha de circulação de óleo. Uma bomba centrífuga de 2 cv é responsável pela circulação do óleo na linha.



Figura 2 À esquerda tanques de óleo e a direita tanque de água gelada



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Válvulas distribuídas ao longo do circuito permitem a isolamento de um dos tanques para acrescentar, repor, ou retirar amostras de óleo da linha sem necessidade de parar a circulação da linha.

O tanque mostrado a direita da Figura 2 está ligado através de tubos de PVC à calha de troca de calor. O tanque, também de PVC, possui volume de 1000 litros e foi envolvido por uma manta de isolamento térmica e uma superfície aluminizada para evitar trocar de calor com o ambiente. Esse tanque será usado para armazenar água gelada. Há um quarto tanque, o de descarte. Esse último comporta 3 m³ e está posicionado em um nível abaixo da plataforma em que está contido todo o sistema e será usado para armazenar o descarte do fluidos e conter o fluxo dos possíveis vazamentos.

2.3 Trocador de calor

A água contida no tanque será resfriada por unidades condensadoras e impulsionada por uma bomba de 0,75 cv de potência e 3 m³/h de vazão. Em paralelo a essa última, está uma bomba em posição de redundância para garantir o funcionamento ininterrupto no caso de falha de uma das bombas. A água gelada é conduzida à calha através de tubos de PVC de 2 polegadas também envolvidos por uma manta térmica diminuindo assim a troca de calor com o ambiente durante a circulação. A água resfriada é conduzida até uma serpentina contida dentro de uma calha. Esta é um reservatório trapezoidal de madeira revestida internamente por uma superfície de fibra de vidro e por fora por uma manta de isolamento térmica. Haverá água dentro da calha que ao trocar calor diretamente com a serpentina diminuirá sua temperatura. Essa água irá circular, mas trocará calor com um elemento de tubo da linha de parafinação que está no interior da calha, como pode ser visto na Figura 3. Também distribuídos no interior da calha e nos tanques estão sensores de temperatura do tipo PT-100. Um elemento de tubo reto conectado a saída da calha será o elemento de tudo amostra.

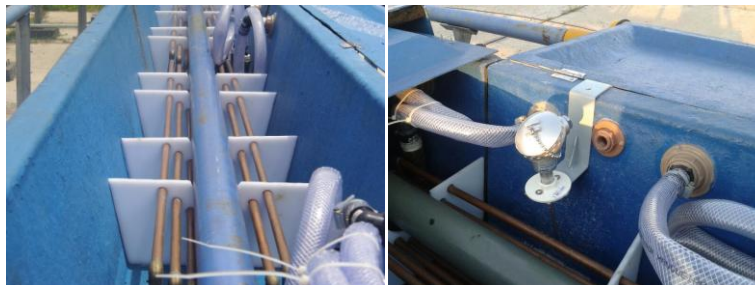


Figura 3 À esquerda Calha, serpentina de cobre e elemento reto de tubo. A direita detalhe de um sensor de temperatura instalado na calha



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

2.4 Unidade de aquecimento

Revestindo externamente um trecho de tubo reto de óleo está um aquecedor baseado numa resistência elétrica que em contato direto com o tubo o aquecerá e este por consequência aquecerá o óleo.

2.5 Unidade de controle

Acionando as bombas para manter o fluxo, acionando as unidades condensadoras para atingir a temperatura desejada, energizando a resistência elétrica para aquecer adequadamente o fluido, coletando informações de temperatura dos sensores está o controlado lógico programável.

3 METODOLOGIA

A parafinação ocorrerá através da circulação contínua do óleo por períodos definidos previamente variando-se parâmetros como temperatura, velocidade de fluxo, concentração de parafina no óleo, etc. Barris com amostra de óleo de poços de diferentes regiões poderão ser analisados.

As amostras de óleo serão inicialmente adicionadas individualmente aos tanques. Esses tanques estão num nível mais alto que a linha, portanto com a abertura das válvulas apropriadas o óleo fluirá pela ação da gravidade expulsando o ar e preenchendo o interior da tubulação de 2^{7/8} de polegada. Após o preenchimento completo da linha, a bomba de óleo poderá ser acionada. O óleo passa a circular pela linha inicialmente a temperatura ambiente, mas aquecendo levemente devido ao atrito com as paredes internas dos tubos. A resistência elétrica esta em contato com a tubulação e quando acionada aquecerá o óleo circulando na linha. A temperatura do óleo no tanque em dois pontos da linha será monitorada pelo CLP através de sensores PT-100. Essa manobra simula uma situação em que está ocorrendo o transporte de óleo e este está a uma temperatura maior que a ambiente e maior que o ponto de cristalização da parafina.

Com o óleo aquecido circulando na linha, a unidade condensadora poderá ser acionada para que o resfriamento do óleo seja alcançado de forma controlada. Com a unidade condensadora acionada a água dentro do tanque de 1000 litros perderá calor diminuirá sua temperatura a níveis próximos a 4 °C e será bombeada através da tubulação de PVC até a serpentina interna a calha. A serpentina, feita de cobre, envolve o elemento de tubo interno a calha por toda sua extensão. A calha será preenchida com água e esta não terá contato com a água interna a serpentina, mas trocará calor com ela. Na extensão da calha estão sensores de temperatura que indicará ao CLP a temperatura média da água da calha. Com o controle do acionamento da circulação da água gelada na



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

serpentina pode-se dominar a temperatura da água na calha. De posse da temperatura do óleo circulando é possível calcular a taxa de transferência de calor (H) no trocador de calor através da Equação (1) mostrada abaixo.

$$H = kA(T_{\text{óleo}} - T_{\text{água}})/L \quad (1)$$

Onde (k) é o coeficiente de condutividade térmica do aço de que é feito tubo, (A) é a área das paredes do tubo, ($T_{\text{óleo}}$) e ($T_{\text{água}}$) são as temperaturas do óleo do tubo e da água do tanque respectivamente e (L) a espessura da parede do tubo.

Com a diminuição da temperatura do óleo é possível atingir o nível crítico de início de precipitação da parafina dissolvida no óleo.

O tempo de circulação do óleo pode ser selecionado e diferentes amostras do fluido com diferentes concentrações de parafina dissolvida podem ser utilizadas para ensaio de parafinação do tubo amostra. Após o tempo determinado a circulação é interrompida as válvulas são acionadas e o tubo amostra pode então ser retirado da linha para estudo e análise.

Um novo tubo amostra pode ser conectado a linha e a válvula de descarte pode ser acionada para que o óleo seja drenado até o quarto tanque e outro óleo com diferentes qualidades possa ser utilizado para que um novo ensaio seja realizado.

Das informações que se pode retirar do tubo amostra podemos destacar as relações entre:

- 1- Tempo de parafinação e espessura da parede de parafina
- 2- Concentração de parafina dissolvida no óleo e tempo de parafinação
- 3- Temperatura e tempo de parafinação
- 4- Tempo de parafinação e velocidade média de circulação do óleo
- 5- Variação do esforço da bomba de óleo e espessura da parede de parafina

4. CONCLUSÕES

Uma vez que o entendimento dos mecanismos e fenômenos que ocorrem no processo de transporte de óleo pelas indústrias petrolíferas ainda possuem pontos ainda não entendidos, um sistema destinado a pesquisas nessa área em escala real foi idealizado e montado para desenvolver ensaios cada vez mais realísticos e para que se obtenham parâmetros cada vez mais reais das relações entre as variáveis que influenciam na obstrução de tubos de transporte de óleo cru. Esse texto se propôs a descrever a montagem de uma linha de parafinação em escala realística quando se comparada às dimensões encontradas em plantas industriais. Foram descritas



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

as etapas de montagem e estruturação do sistema, as etapas de bombeamento de óleo e de água, descrita a estrutura do trocador de calor e a metodologia de coleta de dados e informações sobre as relações entre as variáveis envolvidas na circulação de óleo na linha de parafinarão.

Com esse sistema espera-se obter informações importantes e inéditas sobre o processo de obstrução de tubos de transporte de óleo devido à cristalização de parafina dissolvida.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Y.K.P.G. Aum, Modelagem e simulação de deposição de parafinas em escoamento turbulento, Dissertação de Mestrado, Biblioteca setorial Professor Horácio Nicolás Sólino, Natal RN, 2012.
- [2] F. S. Ribeiro, P. R. S. Mendes, S. L. Braga, Obstruction of pipelines due to paraffin deposition during the flow of crude oils, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 40, n° 18, pp.4319-4328, 1997
- [3] J. S. T. Santos, A. C. Fernandes, M. Giulietti, Study of the paraffin deposit formation using the cold finger methodology for Brazilian crude oils, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol 45, pp.47-60, 2014.
- [4] L. F. A. Azevedo, A. M. Teixeira, A critical review of the modeling of the wax deposition mechanisms, *Petroleum Science and Technology*, Vol.21, n° 3 e 4, pp. 393-408, 2003.
- [5] T. Brown, V. Niesen, D. Erickson, Measurement and prediction of kinetics of paraffin deposition, Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, 1993.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer o importante apoio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecatrônica na Universidade Federal da Bahia (PPGM/UFBA), da Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), da Petrobrás e do Laboratório de Propriedades Ópticas (LaPO) do Instituto de Física da UFBA.