



Dispositivo para a formação do *Core Annular Flow* em duto vertical para poço de petróleo

Hissam Abdul Basset KHATIB; Marlene Silva de MORAES; Aldo Ramos SANTOS and Deovaldo de MORAES JÚNIOR

Unisanta – Universidade Santa Cecília – Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica -PPGEMec

Rua Oswaldo Cruz, 266- Santos-SP, Brasil

E-mail: hissamkhatib@yahoo.com.br

Received may, 2015

Resumo: A técnica de transporte denominada *Core Annular Flow* (CAF) consiste na formação de um escoamento anular de um líquido de baixa viscosidade como a água na periferia do fluxo de um líquido viscoso como o óleo, formando um sistema bifásico de escoamento em dutos. Através desta técnica é possível diminuir a potência consumida no transporte de um fluido de alta viscosidade. O presente trabalho visou dimensionar, desenvolver e estudar a perda de carga de um dispositivo de separação vertical de líquidos para formar o CAF, simulando por exemplo um poço de petróleo. O dispositivo foi constituído por um hidrociclone e uma camisa forçando a formação da técnica CAF. Apesar das vantagens citadas do *core annular flow*, a literatura é carente de dados no que concerna a formação desse escoamento em duto vertical e à otimização das variáveis da técnica.

Palavras chave: *Core Annular Flow*; Transporte; Bifásico; Petróleo; Hidrociclone.

Device for the formation of the *Core Annular Flow* vertical duct for oil well

Abstract: The transport technique called *Core Annular Flow* (CAF) consists on the formation of an annular flow of a viscous liquid with low viscosity as water on the boundary of a flow of a viscous liquid as oil, creating a biphasic system of a duct flow. Through this technique is possible to decrease the consumed power on the transport of a high viscosity fluid. The present work had the purpose to scale out, develop and study the cargo loss of a liquid vertical separation device to create the CAF, simulating e.g. a petroleum well. The device was built by a hydrocyclone and a liner forcing the formation of the CAF technique. Beside the mentioned advantages of the *Core Annular Flow*, the literature is poor of data concerning the formation of this vertical duct flow and the optimization of the technique variables.

Keywords: *Core Annular Flow*; Transport; Biphasic; Oil; Hydrocyclone.

1. Introdução

O petróleo apresenta um elevado valor econômico tanto em panoramas nacionais como em internacionais. A crescente demanda desse produto estimulou o aprimoramento do conhecimento geológico, a exploração do petróleo em terra e águas profundas, o estudo do trans-

porte do óleo e de seus derivados e a investigação por diversas empresas do ramo energético.

O petróleo é conhecido desde o início das civilizações, porém sua exploração e refino se tornaram expressivas a partir do final do século XIX, por conta do surgimento de veículos à combustão. Substituindo o óleo de baleia e querosene, a gasolina e o óleo diesel se tornaram as maiores fontes de energia para o transporte. (BRASIL; ARAÚJO; SOUSA; 2012).

Embora o país possua um cenário energético de vasta disponibilidade do material (Lucchesi, 1998), a exploração tem tido inúmeros desafios e necessidades de novas tecnologias.

A exploração de petróleo no Brasil vem crescendo gradualmente, tanto em terra, quanto em águas profundas. As bacias de petróleo e gás no Brasil apresentam características de óleo pesado com viscosidade entre 100 e 10000 cP e baixo grau API (American Petroleum Institute) entre 12 e 22,3° de acordo com a classificação da Agência Nacional de Petróleo.

A exploração das reservas de petróleo e transporte do mesmo necessita utilizar novas tecnologias para que se torne viável economicamente a produção de óleo e gás no país.

A técnica de escoamento anular central de transporte de fluido ou “Core Annular Flow” (CAF), patenteada por Isaacs e Speed em 1904, nos Estados Unidos pode contribuir com a mitigação das necessidades apresentadas.

Essa técnica de transporte consiste na formação de um escoamento anular de água na periferia do fluxo de óleo, formando um sistema bifásico de escoamento objetivando a diminuição da perda de carga gerada por atrito. A baixa perda de carga é função do menor contato do óleo com a superfície interna da tubulação.

Não foi encontrado dados na literatura da formação do CAR na vertical para emprego em poços de petróleo a partir de uma mistura de água e óleo. O presente estudo objetivou dimensionar e desenvolver um hidrociclone capaz de formar um escoamento bifásico (água-óleo) na forma de *Core Annular Flow* em um trecho de duto vertical a partir de uma mistura desses dois fluidos e quantificar a perda de carga experimentalmente.

2. Material e Métodos

A Figura 1 fornece uma vista geral da unidade experimental.

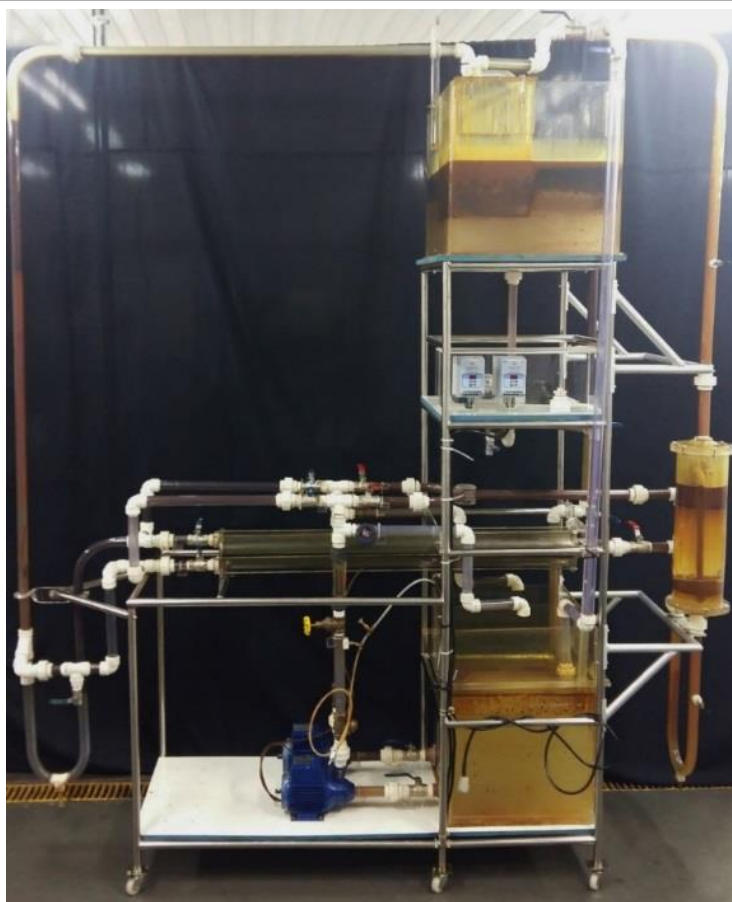


Figura 1. Equipamento utilizado para formação do *Core Annular Flow* (Laboratório de Operações Unitárias – UNISANTA)

A bancada experimental utilizada no estudo consistiu basicamente em:

- Dois tanques de armazenamento de líquidos, um para a água e outro para o óleo, ambos com capacidade para 74 litros;
- Um reservatório para separar a mistura, com capacidade de 192 litros;
- Duas bombas de 0,9 hp, 60 Hz e 380 V sendo uma para o óleo e outra para a água;
- Dois inversores de frequência e um rotâmetro para a linha de água com capacidade para 40 L/min;
- Dutos de 1" e $\frac{3}{4}$ " de acrílico e válvulas de bloqueio, regulagem e retenção; e
- Um misturador estático.

De acordo com Moraes Jr.; Silva e Moraes (2011) um misturador estático, ao passar por cada seção sofre 2^ª divisões. Nesse caso, o misturador era constituído de 11 seções caracterizando 2048 divisões ao longo de todo seu comprimento.

Foram empregados nos ensaios óleo Lubrax 680 de densidade 929,5 kg/m³ e viscosidade a 20,4 °C e água deionizada.

O dispositivo denominado de hidrociclone foi confeccionado pelo método Colman & Thew (1988).

Uma camisa foi construída para direcionar a água separada pelo hidrociclone do duto de saída e, abaixo do dispositivo, foi instalada uma placa inclinada para a entrada da mistura água/óleo na alimentação do ciclone, conforme pode ser visto na figura 2 e figura 3.

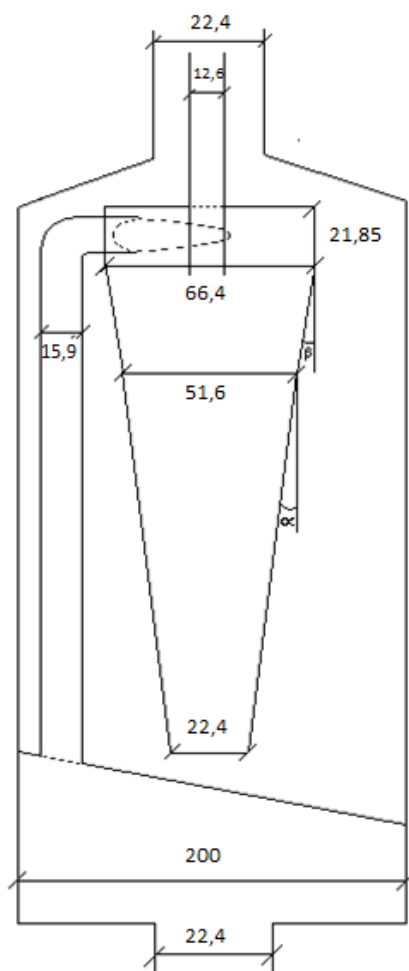


Figura 2. Dimensões do hidrociclone, perfil. Dispositivo para a formação do Core Annular Elow na Vertical (DCAFV). Medidas em milímetros.

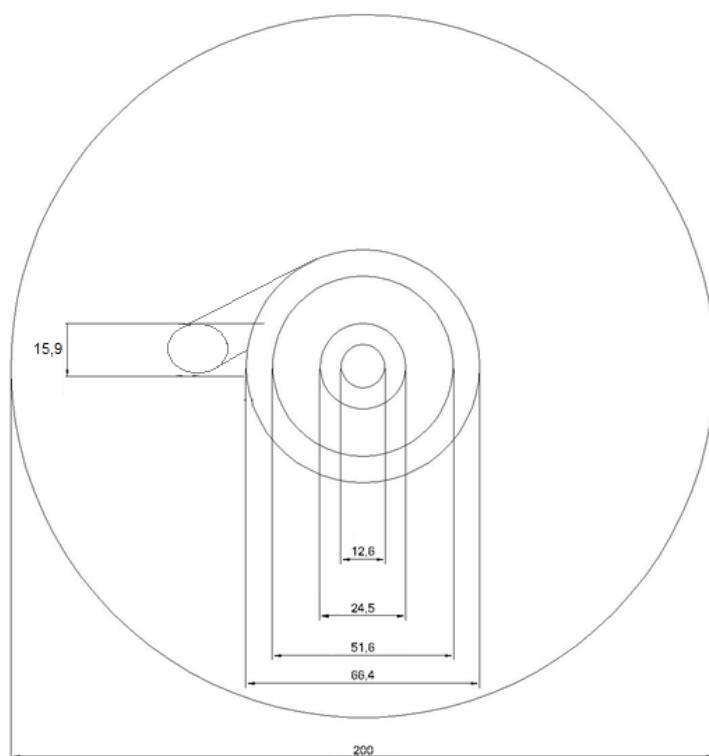


Figura 3. Dimensões do hidrociclone, planta. Medidas em milímetros.

O coeficiente de giro em função do material disponível (referente Figuras 2 e 3) foi calculado pela equação.

$$S = \frac{\pi \cdot 51,6 \text{ mm} \cdot (66,4 \text{ mm} + 15,9 \text{ mm})}{4 \cdot 21,85 \text{ mm} \cdot 15,9 \text{ mm}} \quad (1)$$

$$S = 9.6 \quad (2)$$

Após calculado e dimensionado o dispositivo pelo método de Colman & Thew (1988), foi criado o molde do hidrociclone mostrado nas Figuras 4 e 5.



Figura 4. Construção do molde da parte inferior do hidrociclone.



Figura 5. Dispositivo hidrociclone desenvolvido.

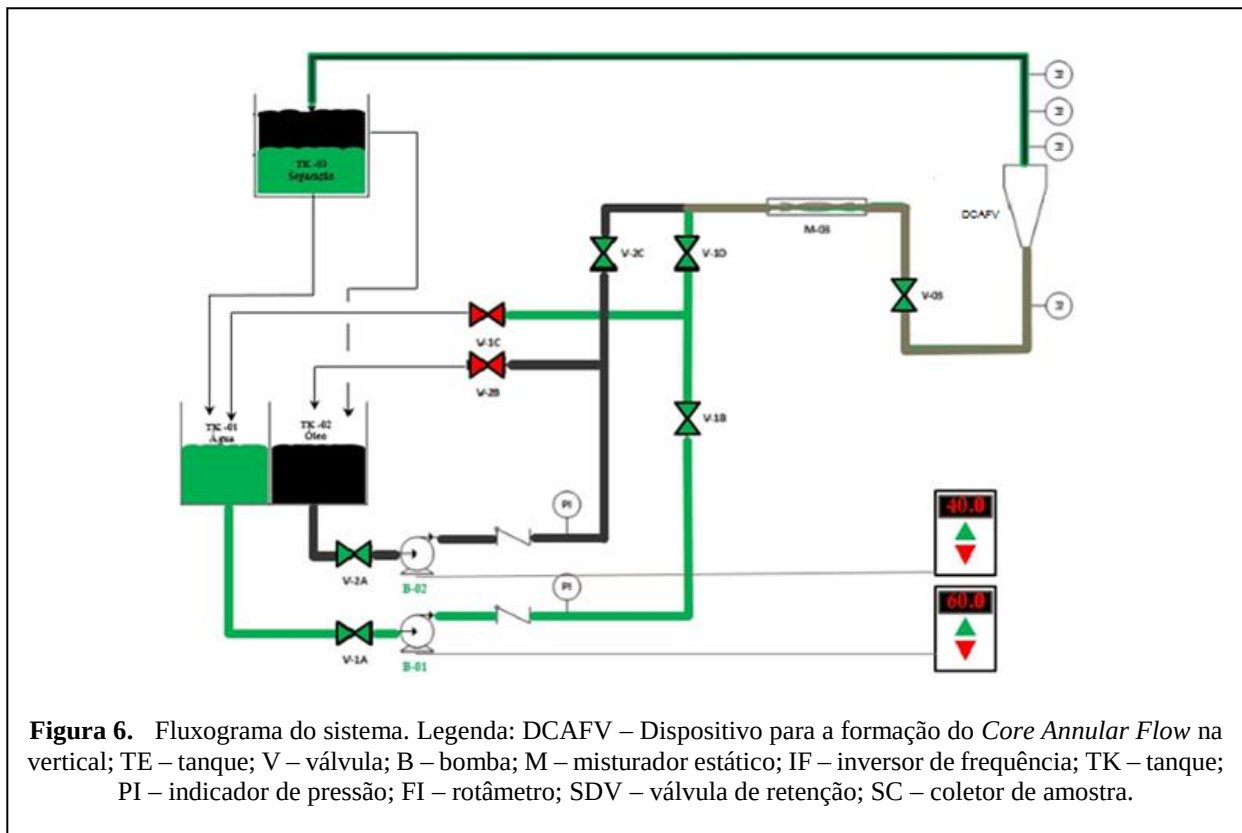
Conforme a Figura 6 o procedimento experimental seguiu a sequência: a) abriu-se a válvula V-1A; b) ligou-se a bomba B-01 através do inversor de frequência IF-01; c) abriu-se as válvulas V-1B e V-1C, desta forma alinhava-se o deslocamento da água para reciclo.

A alimentação do deslocamento de óleo foi semelhante: a) abriu-se a válvula V-2A; b) ligou-se a bomba B-02 através do inversor de frequência IF-02; c) abriu-se a válvula V-2B. As válvulas V-03, V-D e V2C foram abertas na sequência tendo os fluxos de óleo e água alinhados para o misturador estático M-03.

Mediu-se a pressão a montante e a jusante do dispositivo DCAFV e pressões no trecho reto a jusante do dispositivo através dos indicadores de pressão PI (manômetros digitais).

Retirou-se o dispositivo e transportou-se apenas óleo no sistema, coletou-se a vazão e mediu-se a pressão através dos PI.

Coletou-se amostra a jusante do dispositivo DCAFV com um recipiente para medição de vazão do fluido água/óleo.



3. Resultados e Discussão

Observou-se experimentalmente a formação do *Core Annular Flow* a jusante do dispositivo desenvolvido conforme a Figura 7.



Figura 7. Formação do *Core Annular Flow*.

Realizaram-se três ensaios experimentais com o dispositivo variando a frequência de 30, 40 e 50 Hz (Figura 8).

Pode-se observar na Figura 8 que em todos os pares de água e óleo a queda de pressão variou de 0,32 até 0,64 kgf/cm².

Observou-se que o equipamento *Core Annular Flow* Vertical com o dispositivo hidrociclone e com frequência de óleo de 50 Hz, apresentou potencial de coleta de 11,96 kg/min de óleo e perda de carga de 0,59 kgf/cm², podendo-se obter vazão de 11,27 kg/min e perda de carga de 0,49 kgf/cm² ambos com 50 Hz no inversor de frequência.

Foram realizados três ensaios com medição de pressão a jusante do dispositivo no trecho reto com variação na frequência de 30, 40 e 50 Hz.

Plotaram-se os resultados na Figura 9.

Observou-se que na frequência de 50 Hz obteve-se vazão de 11,27 kg/min e perda de carga de 0,14 kgf/cm².

Visando a comparação, realizaram-se 4 ensaios sem o dispositivo transportando apenas óleo e variando a frequência em 50, 55, 60 e 65 Hz objetivando a mesma vazão de óleo. Conforme Figura 10 coletaram-se com a frequência de 65 Hz a vazão de 11,35 kg/min e mediu-se a perda de carga em trecho reto a jusante do dispositivo de 0,12 kgf/cm².

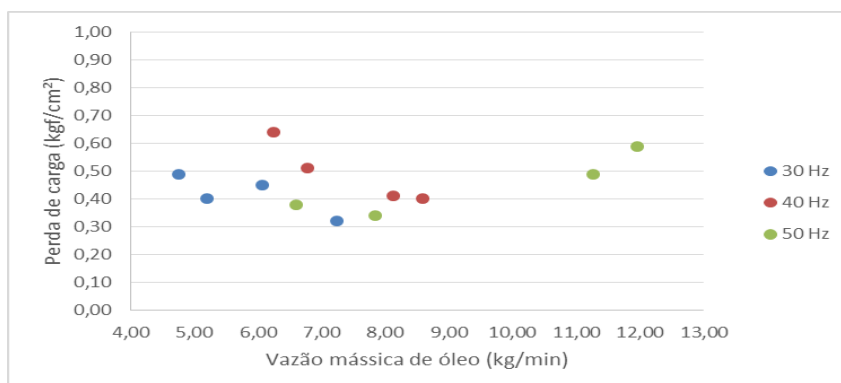


Figura 8. Perda de carga (ΔP) experimental em função da vazão mássica de óleo para o sistema *Core Annular Flow*.

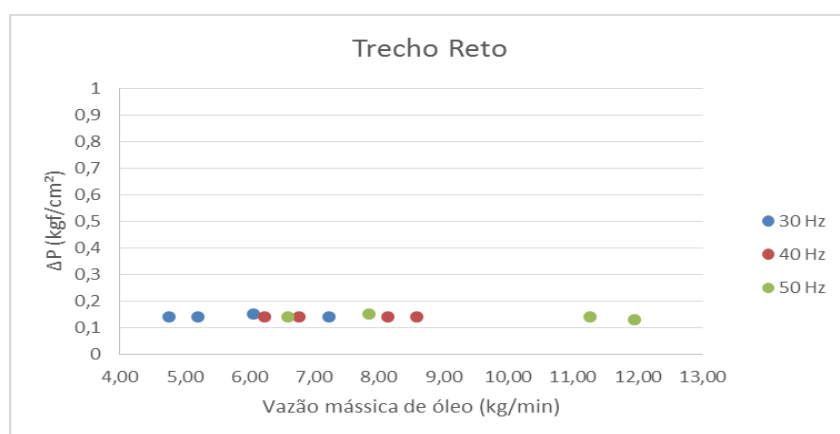


Figura 9. Perda de carga (ΔP) experimental em função da vazão mássica de óleo em trecho reto com a formação do *Core Annular Flow*.

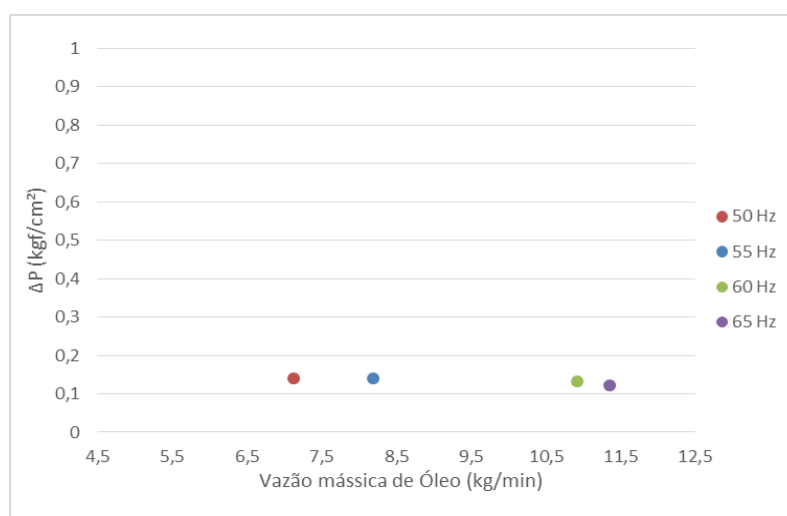


Figura 10. Perda de carga (ΔP) experimental em função da vazão mássica de óleo em trecho reto sem a formação do *Core Annular Flow*.

4. Conclusão

Concluiu-se que o estudo realizado mostrou eficiência na separação de emulsão água-óleo através do dispositivo elaborado, com formação de “Core Annular Flow” no sentido vertical. Houve uma diminuição na frequência da bomba de 15 Hz para o transporte de 11,27 kg/min de óleo, mantendo a perda de carga de 0,14 kgf/cm², com o dispositivo hidrociclone forçando a formação *Core Annular Flow* na vertical.

Referências

- BRASIL, N.I. do; ARAÚJO, M.A.S; SOUSA, E.C.M de. Processamento de Petróleo e Gás: Petróleo e seus derivados, Processamento primário, Processos de refino, Petroquímica, Meio Ambiente. Rio de Janeiro, LTC Petróbras, 2012.
- LUCCHESI, Dante A constituição histórica do português brasileiro como um processo bipolarizado: tendências atuais de mudança nas normas culta e popular. In: Große, Sybille & Zimmermann, Klaus (eds.). "Substandard" e mudança no português do Brasil. Frankfurt am main: TFM, p. 73-100., 1998.
- ISAACS J., Speed J. Method of piping fluids. US Patent 759374, 1904.
- MORAES, JR D.; SILVA, E.L.; MORAES, M.S.; Aplicações Industriais de Estática e Dinâmica dos Fluidos I. São Paulo, 360p, 2011. .
- COLMAN, D.A.; THEW, M.T. Cyclone Separator. US. Pat. 4764287, 8P.1988.
- BROWN, N.P.; HEYWOOD, N.I. Slurry Handling: Design of solid-liquid systems; New York, Elsevier Handling and Processing of Solid Series, Elsevier Science Publishers, 680p.1991.
- MORAES JR, D.; SILVA, E. L.; MORAES, M.S. Aplicações industriais de estática e dinâmica dos fluidos I; Edição do autor, 360p.,2011.
- BURT, C.; CACCETTA, L. Equipment selection for surface mining: A review. Department of mathematics and statistics of University of Melbourne and Curtin University of Technology. Draft Paper, Austrália. p.33,2013.
- CONNOLLY, E.; ORSMOND, D. The mining industry: From bust to boom. Reserve bank of Australia. Research discussion paper (RDP), Austrália. p.12-13, 2011.
- THE CEMA Belt Book, Belt Conveyors for Bulk Materials, fifth edition, CEMA – Conveyor Equipment Manufacturer Association, 196p 1997..