Unisanta Science and Technology, **2016, 6, July**
Published Online 2016 Vol.5 N°1 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

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 transporte 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).

Copyright © 2016 ISESC.

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.

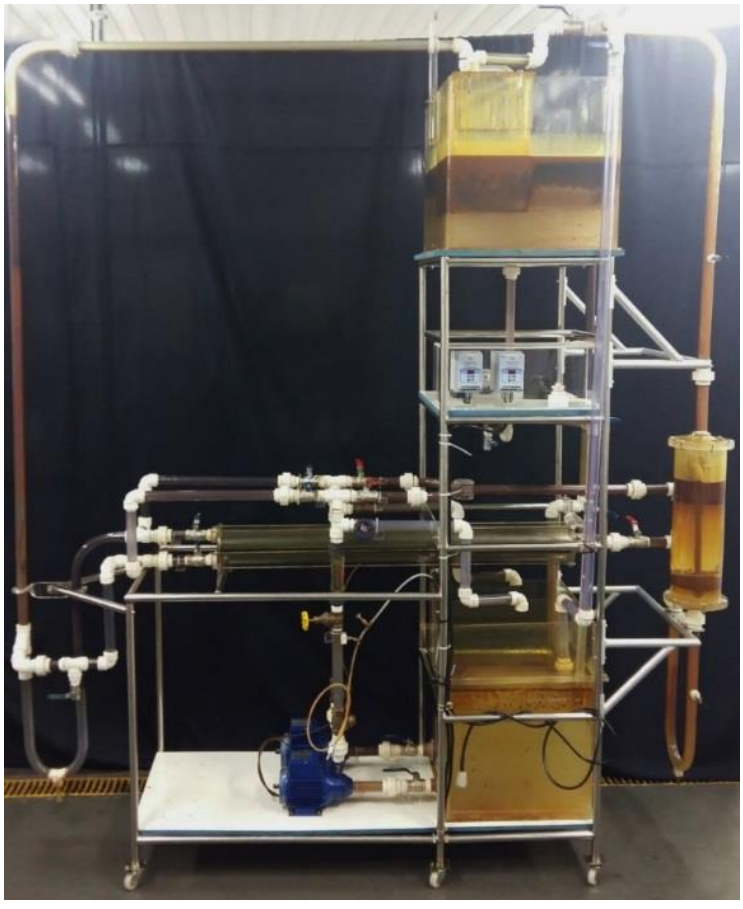

Figura 1. Equipamento utilizado para formação do *Core Annular Flow* (Laboratório de Operações Unitárias – UNISANTA)

Copyright © 2016 ISESC

A bancada experimental utilizada no estudo consistiu basicamente em:

a) Dois tanques de armazenamento de líquidos, um para a água e outro para o óleo, ambos com capacidade para 74 litros;
b) Um reservatório para separar a mistura, com capacidade de 192 litros;
c) Duas bombas de 0,9 hp, 60 Hz e 380 V sendo uma para o óleo e outra para a água;
d) Dois inversores de frequência e um rotâmetro para a linha de água com capacidade para 40 L/min;
e) Dutos de 1" e ¾" de acrílico e válvulas de bloqueio, regulagem e retenção; e
f) Um misturador estático.

De acordo com Moraes Jr.; Silva e Moraes (2011) um misturador estático, ao passar por cada seção sofre 2^n 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 ºC 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.

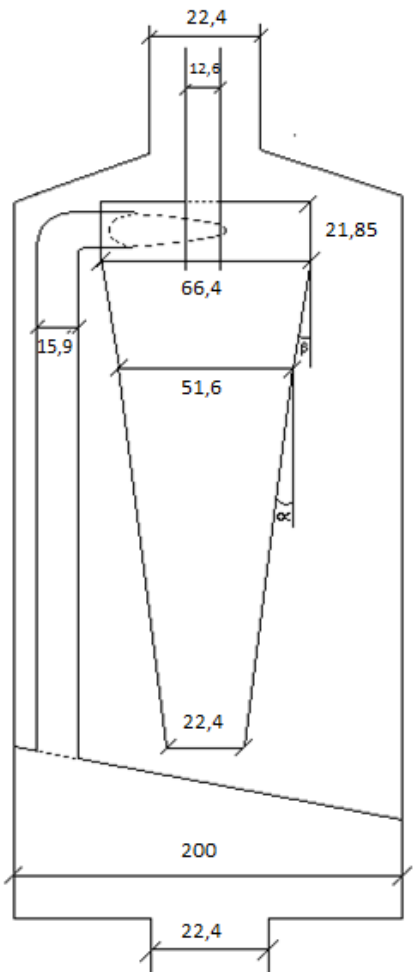

Figura 2. Dimensões do hidrociclone, perfil. Dispositivo para a formação do *Core Annular Flow na Vertical* (DCAFV). Medidas em milímetros.

Copyright © 2016 ISESC

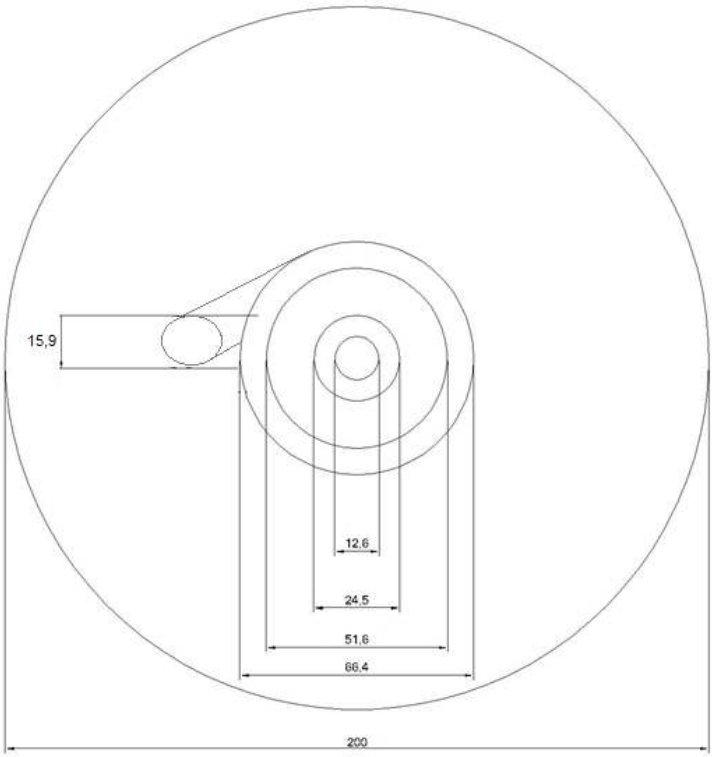

Figura 3. Dimensões do hidrociclone, planta. Medidas em milímetros.

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

$$S = \frac{\pi \cdot 51{,}6\ mm \cdot (66.4\ mm + 15.9\ mm)}{4 \cdot 21{,}85\ mm \cdot 15.9\ mm} \quad (1)$$

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

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.

Copyright © 2016 ISESC



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 alinhou-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.

Copyright © 2016 ISESC

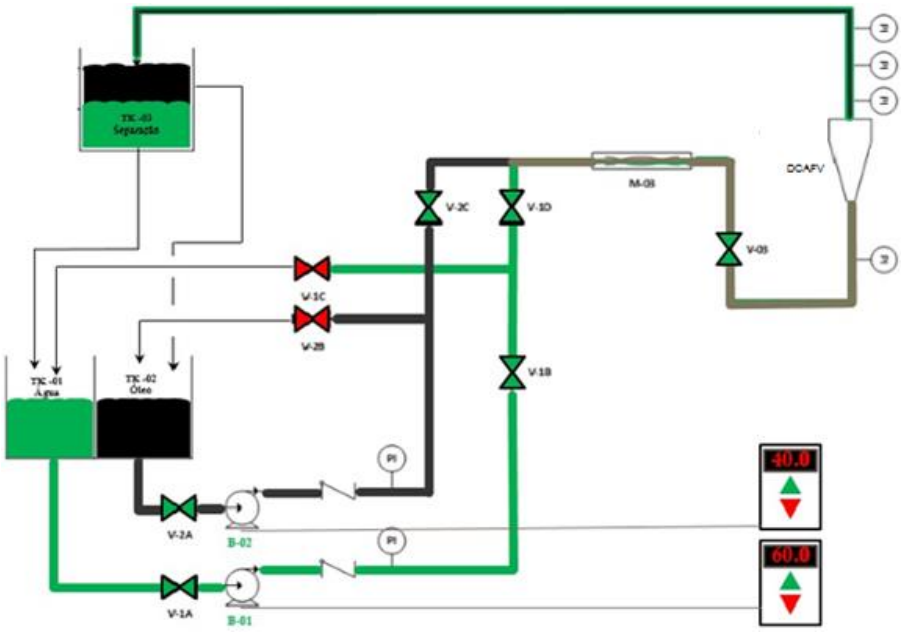

Figura 6. Fluxograma do sistema. Legenda: DCAFV – Dispositivo para a formação do *Core Annular Flow* na vertical; TE – tanque; V – válvula; B – bomba; M – misturador estático; IF – inversor de frequência; TK – tanque; PI – indicador de pressão; FI – rotâmetro; SDV – válvula de retenção; SC – coletor de amostra.

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 50Hz (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.

Copyright © 2016 ISESC

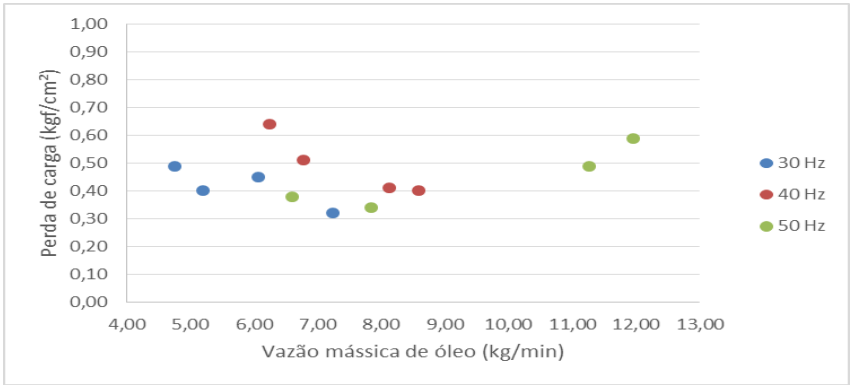

Figura 8. Perda de carga (ΔP) experimental em função da vazão mássica de óleo para o sistema *Core Annular Flow*.

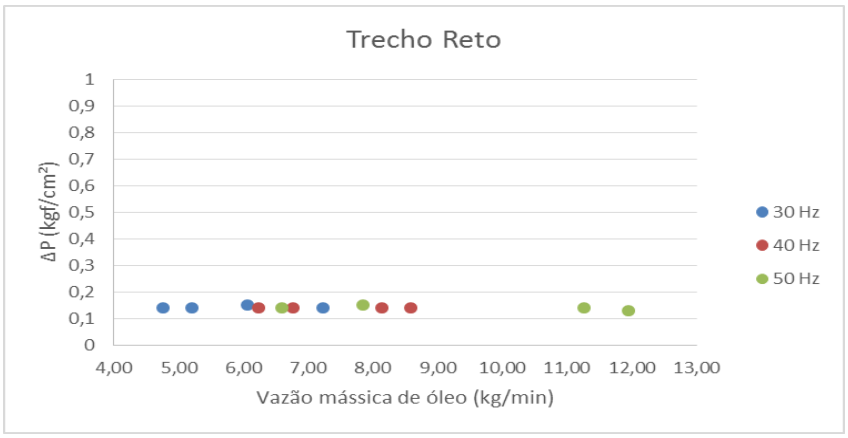

Figura 9. Perda de carga (ΔP) experimental em função da vazão mássica de óleo em trecho reto com a formação do *Core Annular Flow*.

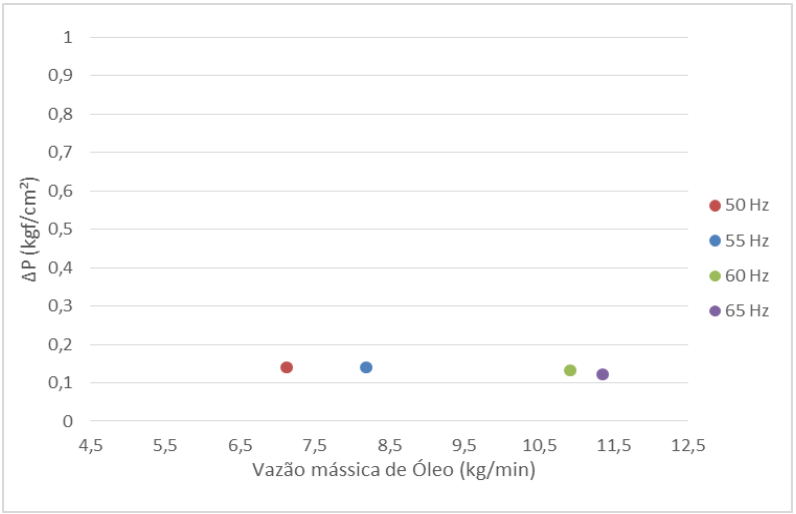

Figura 10. Perda de carga (ΔP) experimental em função da vazão mássica de óleo em trecho reto sem a formação do *Core Annular Flow*

Copyright © 2016 ISESC

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 Petrobras, 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..

Copyright © 2016 ISESC