

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ESTANQUEIDADE DE CILINDROS PARA ARMAZENAGEM DE FLUIDOS EM ALTAS PRESSÕES E TEMPERATURAS

AUTORES:

KIM, N.R., BOTINE, W.C. e TREVISAN, O.V.

INSTITUIÇÃO:

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

ESTANQUEIDADE DE CILINDROS PARA FLUIDOS EM ALTAS PRESSÕES E TEMPERATURAS

Abstract

Demanding for oil and gas is growing all over the world and this leads to search and exploit reserves in more and more challenger environment. Extreme conditions in such places are frequent nowadays. Laboratory studies need samples of liquid and gas that must be truly representative of a well under operation. So they must be kept at high pressure and high temperature, to analyze their characteristics. Customized vessels are produced to maintain the fluids up to 103,4 MPa and 200 °C. The objective of this work is to show the results of a comparison between some different types of o-rings and cap cylinder design used to close the recipient, which presented several leakings. Tests were performed with brine, oil and carbon dioxide mixtures. Experimental data are the basis for an adequate planning to hydrocarbon exploration, especially in new frontiers recently found in Brazil.

Introdução

As condições esperadas para um fluido contido em um reservatório podem ser, por exemplo, 62,1 MPa (9000 psi) e 64°C (147°F), com razão gás-óleo próxima a 200 m³ std / m³ std (1110 scf/stb). Uma análise do comportamento PVT - pressão, volume e temperatura, dos fluidos envolvidos começa com a determinação das composições do óleo e do gás, as quais podem ser obtidas, em geral, através de cromatografia. A salmoura encontrada junto com o hidrocarboneto pode apresentar uma grande concentração de aproximadamente até 200 000 ppm.

Na análise de um óleo vivo, algumas das medidas de interesse são o ponto de bolha, a razão gás-óleo e as diversas variações de volume que ocorrem devido às misturas dos fluidos (Ahmed, 2006). De posse dessas informações, uma avaliação das reservas pode ser feita, através de um planejamento adequado para se recuperar o petróleo, determinando-se a quantidade e a qualidade dos fluidos produzidos.

Nos testes de laboratório, os recipientes para armazenagem dos fluidos são cilindros de aço inoxidável 316, de 1000 ml e de 500 ml de volume, projetados para suportarem 103,4 MPa e 200 °C, sendo denominados de células ou garrafas PVT, sendo seu esquema mostrado na Figura 1.

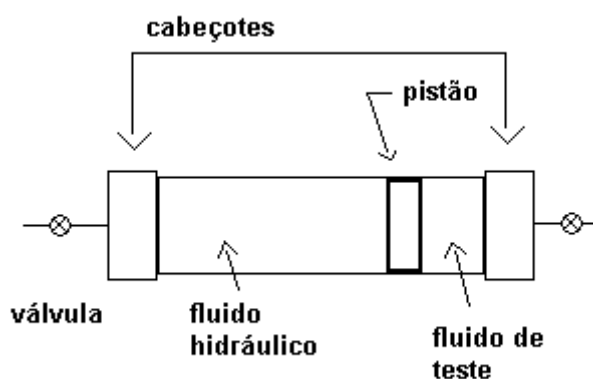


Figura 1. Esquema de um cilindro.

O cilindro possui dois compartimentos, um com fluido hidráulico conectado à bomba e outro, com o de processo, separados por um pistão flutuante. No fechamento de cada cabeçote existe um o-ring, que se caracteriza por ser um elemento de material macio entre duas superfícies sólidas, com o objetivo de vedação, impedindo a perda ou transferência de fluido através de uma passagem. No presente estudo o

retentor deve ser compatível com fluidos de petróleo, CO₂ e salmoura sob alta pressão e alta temperatura. Esta análise irá se concentrar em anéis compostos por elastômeros, sendo que foram utilizados os de VITON[®] 90D (fluorcarbono), borracha nitrílica sintética (Buna-N), AFLAS[®] 80D (tetrafluoretileno propileno – FEPM) e CHEMRAZ[®] 505 (perfluorelastômero). Vários aditivos podem ser usados na confecção do vedante, como por exemplo, agentes de cura, ativadores, plastificantes, antioxidantes, dentre outros, dependendo de como será a utilização do *o’ring*, conforme pode ser visto no *Handbook* da Parker, 2007.

A deterioração do vedante é comprovada quando ocorrer inchamento ou perda de volume, variação na dureza, alteração na tensão de ruptura ou no alongamento, fatores que são dependentes da temperatura.

Metodologia

Análises cromatográficas identificaram os componentes do óleo e do gás, permitindo que um simulador determinasse as características PVT da mistura. Com base nesses resultados teóricos foi feita uma programação dos ensaios experimentais.

No laboratório, uma bomba para até 103,4 MPa era capaz de medir variações de volume de 0,01 cm³, cujo esquema pode ser visto na Figura 2.

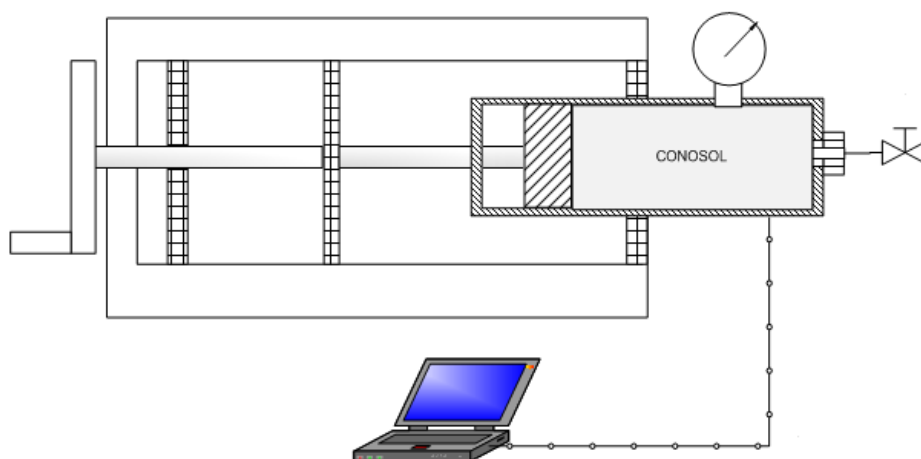


Figura 2. Bomba de pistão, fluido hidráulico é o Conosol 260.

Através de um *lap top* podia-se controlar a bomba, no modo Pressão ou Volume. O primeiro permitia que o usuário escolhesse um valor de pressão, que o equipamento buscava, ao ser ativado. Automaticamente, o fluxo de fluido hidráulico era definido, aumentando ou diminuindo, dependendo da diferença entre a pressão atual e a programada. Esse fluxo podia variar desde um valor mínimo igual a 0,1 cm³/hora até um máximo de 1000 cm³/hora.

Uma manta térmica envolvendo o cilindro proporcionava o aquecimento controlado eletronicamente, utilizando como sensor um termopar tipo J.

A partir de uma amostra de óleo morto e outra do gás, foi feita a recombinação, baseado na razão gás-óleo prevista, mantendo-se o óleo vivo em uma garrafa PVT (identificada como G1). Depois da recombinação, levantou-se o gráfico de pressão contra volume, determinando-se a pressão de bolha, na interseção de duas curvas, a primeira representando a região de altas pressões, onde a mistura se encontrava monofásica e a segunda, após o surgimento da fase gasosa, que provocava uma alteração na compressibilidade. Os testes experimentais foram feitos a 68 MPa, para garantir que a mistura estivesse acima do ponto de bolha, na temperatura esperada para o reservatório, ou seja, 64 °C. Várias

medidas de volumes de óleo e de gás, saindo do cilindro G1 para as condições atmosféricas, foram feitas a fim de se calcular a razão gás-óleo experimental.

A salmoura foi preparada misturando-se NaCl com água destilada, deixando-a em um desaerador magnético durante duas horas e depois, colocando-a em uma garrafa PVT (G2). Um cilindro de CO₂ a 800 psi estava disponível no laboratório. Transferiu-se o gás para uma outra garrafa PVT (G3). Em um quarto recipiente PVT (G4) foi feita a mistura de salmoura com CO₂, enquanto a combinação final, com todos os fluidos nas quantidades calculadas teoricamente com o auxílio de um programa comercial de propriedades PVT, foi feita na G5. Todos os cilindros (G1, G2, G3, G4 e G5) foram mantidos a 68 MPa e 64 °C. O procedimento experimental está esquematizado na Figura 3. Iniciando-se com a garrafa vazia (G4), colocou-se certo volume de salmoura, proveniente de G2. A seguir, adicionou-se uma quantidade de CO₂, ficando-se com solução salina carbonatada em G4. Um volume predeterminado dessa mistura foi injetado na garrafa G5, na qual foi acrescentado o óleo vivo, em três etapas.

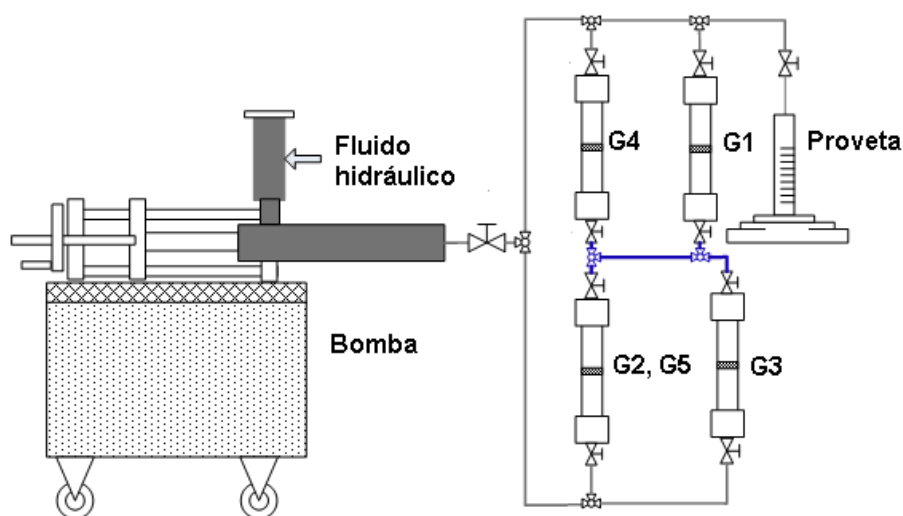


Figura 3. Diagrama experimental. Em azul, o fluido de teste.

Resultados e Discussão

Os *o'rings* de Viton foram usados na garrafa de salmoura. Por quatro vezes, eles se romperam, apresentando-se como mostrado nas Figura 4 (a) e (c). Em alguns testes, o anel foi sensivelmente comprometido (b), porém, sem permitir o vazamento do cilindro.

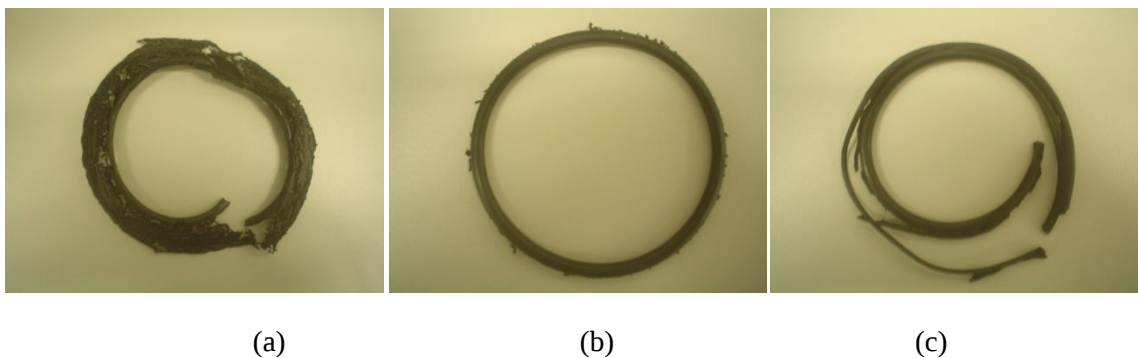


Figura 4. *O'rings* danificados.

Um exemplo do estado do retentor após o problema pode ser visto na Figura 5.



Figura 5. *O'ring* rompido, posicionado no cabeçote.

Os anéis de Buna N são adequados para uso com óleos e fluidos de petróleo, além do CO_2 . Neste experimento, foram utilizados na garrafa com o gás comprimido, que apresentou vazamentos em cinco ocasiões. Quando o material dos retentores foi AFLAS[®], aplicados nos cilindros de salmoura, dióxido de carbono e óleo vivo, os vazamentos aconteceram em quatro oportunidades. *O'rings* de CHEMRAZ[®] têm um custo econômico elevado, sendo indicados para situações extremamente agressivas. Foi utilizado no cilindro com o óleo vivo e também se rompeu após dez dias de teste.

A estanqueidade do recipiente era garantida pelo fechamento nas extremidades, sendo feito de acordo com a Figura 6.

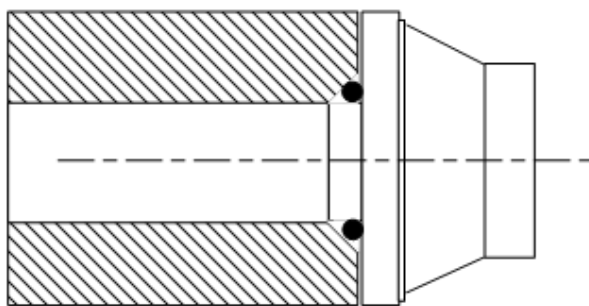


Figura 6. Cilindro e cabeçote com o assento do *o'ring*.

Existia um espaço no qual o *o'ring* ficava alojado, forçado a se moldar preenchendo as irregularidades das superfícies, devido à rugosidade, além de eliminar quaisquer folgas, resultando no bloqueio do fluido. Essa amoldagem era provocada por uma força mecânica que mantinha as superfícies em contato. O desenho do alojamento e o material do anel são fundamentais para a eficiência da vedação. A pressão transmitida pelo próprio fluido ao retentor também colabora para melhorar o bloqueio. Entretanto, se os limites mecânicos do elastômero forem ultrapassados, ele começará a se extrudar pelas folgas entre as superfícies, conforme a Figura 7.

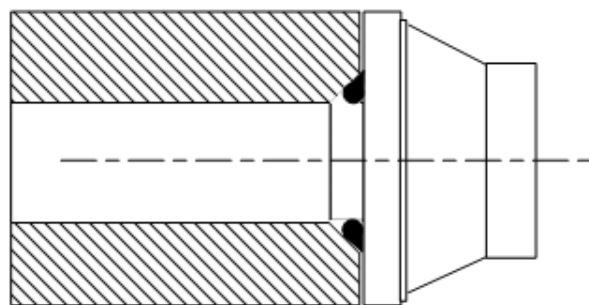


Figura 7. Extrusão do anel.

Uma modificação no desenho do cabeçote foi providenciada, de acordo com a Figura 8.

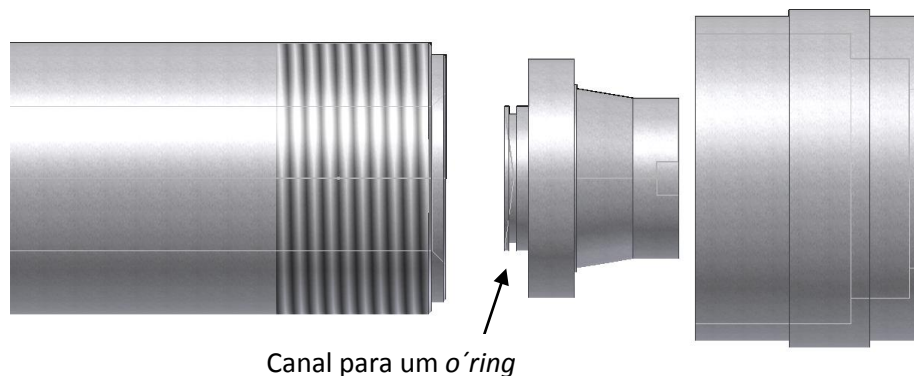


Figura 8. Cabeçote com diferente posição para o *o'ring*.

Essa nova geometria aliviou o esforço sobre o anel, mas ele continuou a se romper, embora tenha resistido por um tempo mais prolongado.

O fechamento da tampa que fixava o cabeçote dos cilindros foi feito através de parafusos com o auxílio de um torquímetro. O fabricante das garrafas sugere um torque de 11,29 N.m (8,33 lbf.ft). Devido aos vazamentos encontrados, aumentou-se esse valor para 32,54 N.m (24 lbf.ft). Os *o'rings* continuaram a se romper, porém suportaram o ensaio durante um tempo sensivelmente maior.

Conclusões

A garantia da estanqueidade de vasos cilíndricos de pressão, durante certo tempo, pode ser obtida através da variação do material dos *o'rings* utilizados, da geometria e do torque do fechamento dos cabeçotes.

O anel de vedação Chemraz foi o mais resistente, porém se rompeu após um período de uso.

As condições de 68 MPa e 64 °C, somadas à presença do CO₂, configuram uma situação de extrema severidade imposta aos ensaios experimentais, exigindo muita atenção por parte do pessoal envolvido.

O presente estudo contribui para o desenvolvimento da tecnologia de exploração de óleo e gás, principalmente na área de recuperação avançada de petróleo.

Agradecimentos

O Cepetro – Centro de Estudos de Petróleo, na Unicamp, forneceu a infraestrutura para os ensaios. Os autores agradecem o suporte financeiro da Petrobras e da Repsol/Sinopec do Brasil.

Referências Bibliográficas

Ahmed, T., Reservoir Engineering Handbook, Third Edition, Gulf Professional Publishing, Elsevier, USA, 2006.

Parker O'Ring Handbook, ORD 5700, Parker Hannifin Corporation, Cleveland, OH, USA, 2007.