

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



TÍTULO DO TRABALHO:

CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO GÁS-LÍQUIDO NO CHOKE BEAN DO POÇO 01-FMO-001-BA

AUTORES:

NASCIMENTO, J. C. S.¹; DUARTE, L. J. N.²; SANTOS, L. C. L.³

INSTITUIÇÃO:

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia de Petróleo

³Universidade Federal da Bahia, Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais

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.

CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO GÁS-LÍQUIDO NO CHOKE BEAN DO POÇO 01-FMO-001-BA

Abstract

The occurrence of multiphase flow in restrictions is quite common in the oil and gas industry. This can occur in chokes beans, speed controllers, safety valve, centralizing and any type of pipe equipment such as valves and reducers. In addition, this kind of flow in restrictions can be observed due to deposition of paraffins, asphaltenes and hydrates on the walls of the production column. However, the most common is flow through choke beans. Therefore, the aim of this work is to characterize the gas-oil flow on 01-FMO-001-BA's choke bean using empirical correlations and qualitatively assess the performance of these correlations in order to identify new and improved flow conditions which could contribute to production maximization. It was observed from the simulations a progressive increase on the GOR as a result of the increase of the choke size. For sizes under 12/64 inches the results showed some irregularity on the pressure upstream due to the turbulence phenomena caused by the small opening. Therefore, it is recommended larger sizes to prevent this problem. Good results were obtained by using empirical correlations in a quantitative manner which is very close to the actual flow into the well.

Keywords: Multiphase flow through chokes, empirical correlation and mature fields.

Introdução

A indústria do petróleo no Brasil surgiu na década de 30 com a descoberta de jazidas de óleo e gás na Bacia do Recôncavo Baiano. Estes campos possuem hoje cerca de 30 a 60 anos de produção, o qual encontram-se em estágios avançados de exploração. Como consequência, muitos deles apresentam produção declinante e multifásica, próximos de seus limites econômicos. Estes campos são comumente chamados pela indústria de campos maduros e, apesar de menos rentáveis do que já foram no passado, possuem grande importância econômica para as regiões próximas às suas localizações, seja pelo aquecimento do comércio local, recolhimento de *royalties*, ou pela absorção de mão-de-obra local (Câmara, 2004).

Muitos destes campos apresentavam inicialmente como mecanismo natural de produção o gás em solução e, como consequência, forneciam baixo fator de recuperação necessitando de um método de elevação artificial muito cedo em função da vida curta como surgente. Nesse tipo de mecanismo a produção ocorre devido à expansão do gás que inicialmente encontrava-se dissolvido no óleo e com a redução da pressão é liberado da mistura. À medida que o gás sai de solução e vai sendo produzido junto com óleo, a energia do reservatório também vai sendo drenada para fora do reservatório, de tal forma que, quanto mais rápido esse gás é produzido, menor o tempo de produção do campo.

É comum em poços que produzem através desse mecanismo o uso de reguladores de fluxo, os chamados *choke beans*. Os *chokes* são utilizados para controlar a vazão dos fluidos na superfície, de modo que o reservatório alimente o poço com a máxima eficiência. Além disso, os *chokes* são também utilizados para prevenir a formação de cone de água, cone de gás e produção de areia. Geralmente, este equipamento é instalado na árvore de natal ou na entrada do vaso separador, sendo o primeiro de maior ocorrência. Os *chokes* servem para diminuir ou aumentar a área aberta ao fluxo. O aumento ou diminuição de sua abertura ao escoamento dos fluidos faz com que aumente ou diminua a perda de

carga na tubulação, respectivamente. Com isso, aumenta-se o gradiente de pressão na coluna e, consequentemente, a pressão dinâmica de fluxo no fundo do poço.

O escoamento de fluidos em *chokes* pode ser dividido em duas categorias: fluxo monofásico e fluxo multifásico. No fluxo monofásico tem-se o escoamento de um único fluido óleo, gás ou água, e seu estudo é feito através das equações de escoamento de fluidos em orifícios. O fluxo multifásico em *chokes* ocorre quando se tem mais de uma fase ou componente escoando simultaneamente pela restrição. Nesta categoria existem dois tipos de fluxo: o fluxo crítico e fluxo subcrítico. Durante o fluxo crítico, a velocidade superficial dos fluidos através do *choke* é maior ou igual a velocidade do som no meio. Neste tipo de escoamento as condições a jusante do *choke* não influenciam nas condições a montante da restrição. Na prática para que essa condição seja atingida é necessário manter a pressão a montante do *choke* maior ou igual a duas vezes a pressão de jusante. No fluxo subcrítico, as condições de fluxo dependem do diferencial de pressão a montante e a jusante da restrição. Fortunati (1972) afirma que a grande maioria dos poços de petróleo produz com condições de fluxo abaixo das condições de fluxo subcrítico. Existem diversas correlações empíricas utilizadas para modelagem do escoamento multifásico em *chokes*. No entanto, seu uso é restrito apenas aos casos em que ocorre o fluxo crítico. No caso do fluxo subcrítico, a determinação de seu comportamento de fluxo é complexa e exige o conhecimento de inúmeros parâmetros para caracterizá-lo (Brown, 1977).

Os modelos empíricos de maior destaque da literatura foram desenvolvidos por: Gilbert (1954), Ros (1961), Baxendell (1958) e Achong (1961). Estas correlações foram desenvolvidas a partir de dados reais de campos produtores de óleo e gás.

O estudo será realizado no campo maduro de Fazenda Mamoeiro, localizado no município de Entre Rios, Recôncavo baiano, operado pela Universidade Federal da Bahia através do Projeto Campo-Escola (PCE) em parceria com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e B combustíveis (ANP). Este campo produz através de um mecanismo de gás em solução, com alta produção de gás e baixa produção de óleo.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo caracterizar o escoamento gás-óleo na restrição do poço 01-FMO-001-BA do campo de Fazenda Mamoeiro através da aplicação de modelos empíricos e avaliar de forma qualitativa o desempenho destas correlações. Os resultados alcançados visam identificar novas e melhores condições de operação que venham a maximizar sua produção acumulada.

Metodologia

A caracterização do escoamento gás-líquido na restrição do poço 01-FMO-001-BA foi realizada através da aplicação de modelos empíricos para fluxo multifásico em restrições (Equação 1), desenvolvidos por Gilbert (1954), Ros (1961), Baxendell (1958) e Achong (1961). Vale ressaltar que estes modelos foram desenvolvidos a partir de observações de campo sem nenhum embasamento físico e fenomenológico do escoamento.

$$P_{\text{mont}} = \frac{C (RGL)^m q_o}{s^n} \quad (1)$$

Em que:

P_{mont} pressão a montante da restrição, kgf/cm²;

RGL razão gás-líquido, m³ std/m³ std;

S abertura da restrição, 1/64 in;

q_o vazão de líquido, m³/d.

Os parâmetros C, m e n apresentados na Equação 1 são coeficientes adimensionais e dependem da correlação empírica empregada. Na Tabela 1 são mostrados os valores destes parâmetros, bem como suas respectivas correlações.

Tabela 1 - Coeficientes adimensionais

Correlação	C	m	n
Gilbert	11,35	0,546	1,89
Ros	18,24	0,500	2,00
Baxendell	10,85	0,546	1,93
Achong	05,19	0,650	1,88

Os dados de vazão de óleo e pressão a montante e jusante do *choke* estão mostrados na Tabela 2. Nesta tabela estão contidos também os valores da razão entre a pressão montante e pressão a jusante, ao qual pode-se constatar a existência de fluxo crítico, pois todos os valores são maiores do que dois, ou seja, a pressão de montante é maior do que duas vezes a pressão de jusante.

Tabela 2 - Vazões e pressões a montante e jusante do *choke* (Nascimento, 2011)

q_o (m ³ /d)	P_{mont} (kgf/cm ²)	P_{jusa} (kgf/cm ²)	P_{mont}/P_{jusa}
0,1	24,3	4,9	5,0
0,8	28,8	4,9	5,9
1,6	26,1	4,9	5,3
2,4	22,6	4,9	4,6
3,1	38,7	4,9	7,9
4,7	25,5	4,9	5,2
6,2	10,2	4,9	2,1

A Figura 1 ilustra a árvore do natal do poço, na qual contém duas restrições de abertura máxima de 3/4 in. À direita o Bean01 utilizado para despressurizarão do poço e à esquerda o Bean02 utilizado para controle de vazão.

Com essa metodologia a caracterização do escoamento gás-líquido em *chokes*, foi realizado no Bean02, responsável pelo controle da produção do poço. Os dados de vazão e pressão apresentados na Tabela 2 referem-se às condições de fluxo neste equipamento. Os resultados foram analisados através

construção de mapas de abertura do *choke* em função da vazão de óleo e razão gás-óleo (RGO) para os quatro modelos empíricos propostos.



Figura 1 – Árvore de natal do poço 01-FMO-001-BA: Bean01 à esquerda; Bean02 à direita (Nascimento, 2011)

Resultados e Discussão

As Figuras 2 e 3 mostram os resultados das variações na abertura do *choke* como função da vazão de óleo e RGO para os quatros modelos simulados.

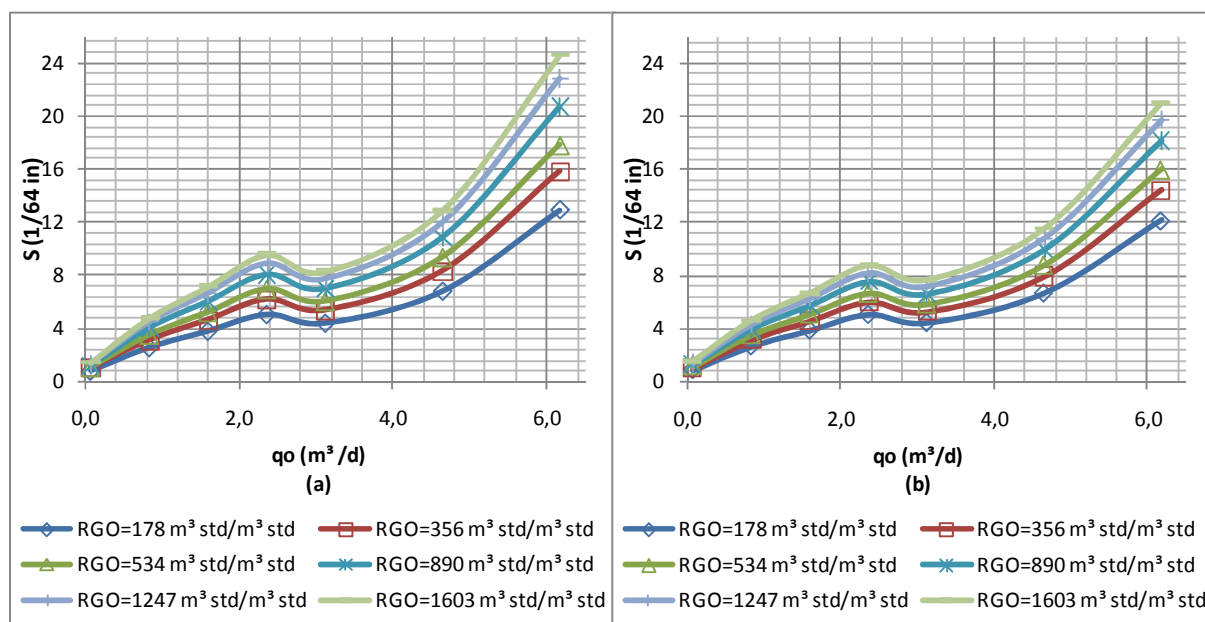


Figura 2 - Mapas de abertura do *choke* em função da vazão (q_o) e RGO: (a) Gilbert; (b) Ros

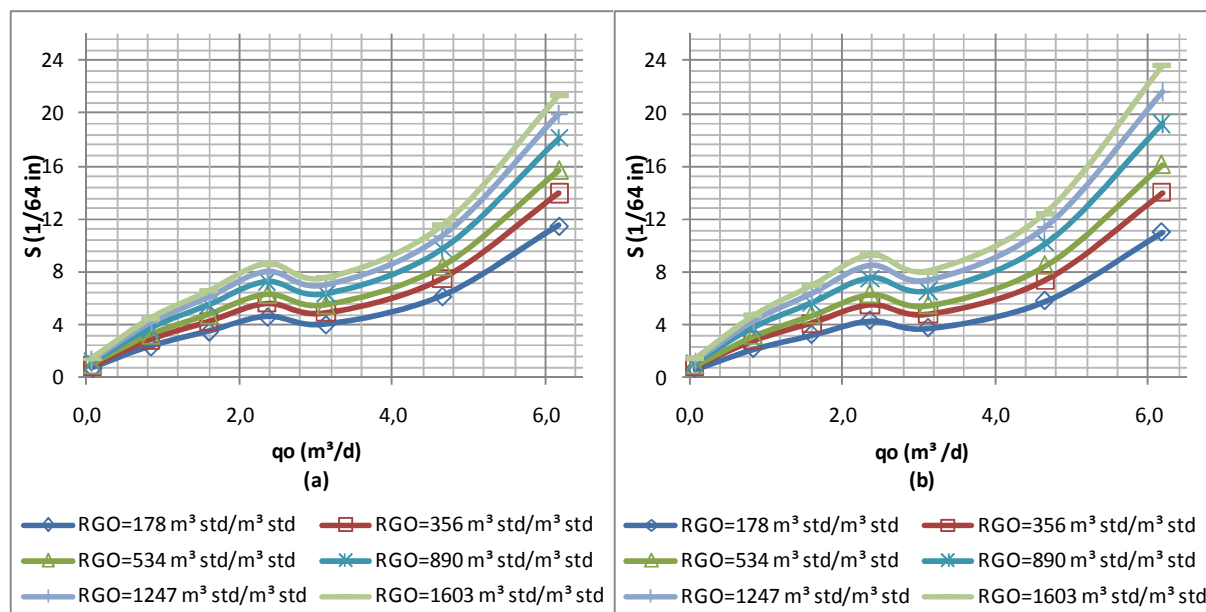


Figura 3 - Mapas de abertura do *choke* em função da vazão (q_o) e RGO: (a) Baxendell; (b) Achong

Pode-se perceber através das Figuras 2 e 3, que para qualquer vazão de líquido, a RGO cresce à medida que se aumenta a abertura da restrição. Isso ocorre devido à diminuição da pressão a montante do choke causado pelo aumento da abertura, como consequência mais gás é liberado de dentro do óleo fazendo com que houvesse um acréscimo na RGO.

Observa-se também, em todos os mapas, que as curvas de abertura do *choke* apresentam três comportamentos, sendo eles: no primeiro trecho, vazão de óleo entre 0 e 2,4 m^3/d , as curvas são crescentes neste intervalo, no segundo trecho, vazão entre 2,4 a 3 m^3/d , as curvas decrescem com um aumento de vazão, voltando a serem crescentes para as vazões de óleo acima de 3 m^3/d , terceiro trecho. Essa mudança no comportamento das curvas de abertura do *choke* ocorreu devido a mudança de padrão de fluxo dentro da coluna de produção. O segundo trecho, por exemplo, teria-se um regime de transição do padrão do primeiro para o terceiro trecho.

A Figura 4 ilustra a curva de valores médios de abertura do *choke* através de uma linha de tendência polinomial de grau três, e os pontos de abertura obtidos por cada método para RGO de 890 m^3 std/ m^3 std. Este valor de RGO foi escolhido por estar mais próximo do valor real de RGO do campo.

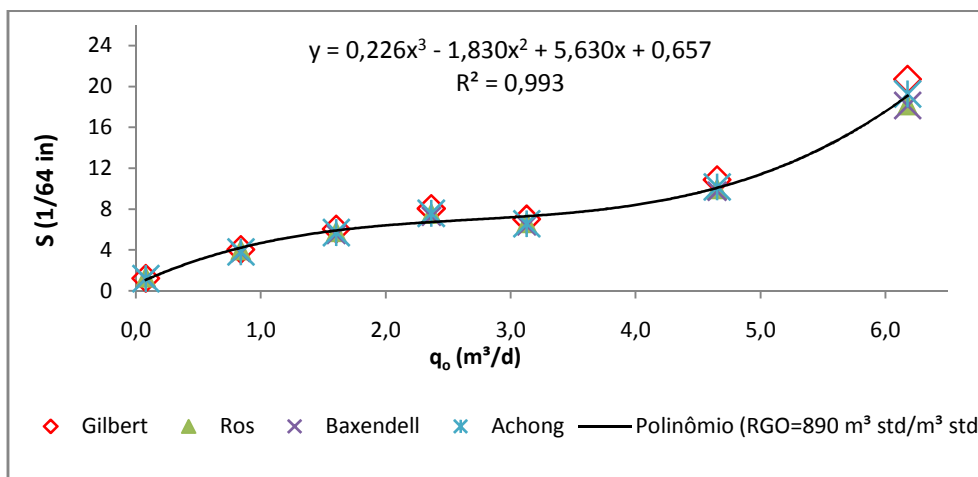


Figura 4 - Comparação entre os modelos para uma curva de valores médios de abertura do *choke*

A análise da Figura 4 leva-nos a concepção de que os resultados obtidos pelas quatro correlações estão bem próximos da linha de tendência, ou seja, na mesma faixa de valores. Com isso, conclui-se que os modelos possuem o mesmo desempenho quanto à previsão do escoamento multifásico em *chokes* para a faixa de valores dos parâmetros estudados. Neste caso pode-se utilizar qualquer um dos modelos para caracterização do escoamento no poço.

A Figura 5 traz um mapa de abertura obtido pela correlação de Gilbert com a curva de pressão versus abertura do *choke*.

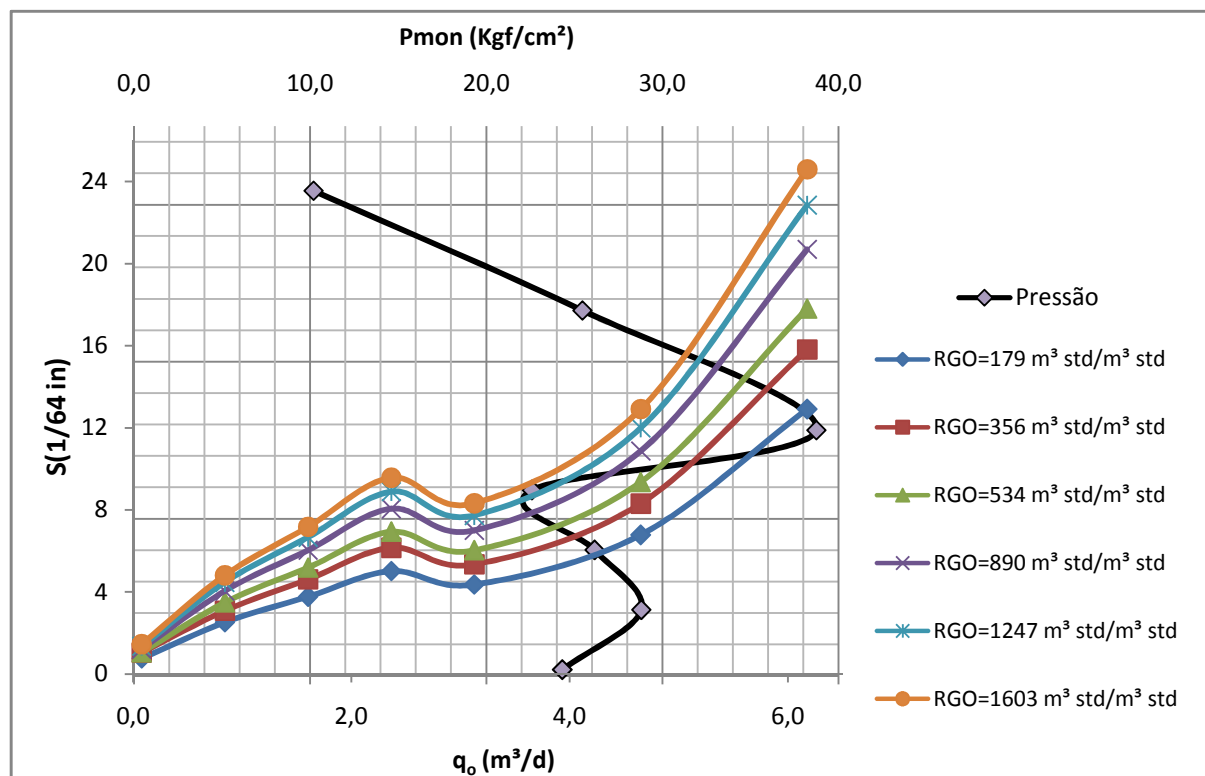


Figura 5 - Mapa de abertura com curva de pressão versus vazão e abertura do *choke*, utilizando a correlação de Gilbert

Observa-se através da Figura 5 que a pressão comporta-se de forma irregular, para aberturas no *choke* abaixo de 12/64 in. Tal comportamento pode ser justificado pelos fenômenos de turbulência causada pela pequena abertura da restrição. Para aberturas maiores que 12/64 in a pressão apresenta comportamento bem definido, apresentando um declínio linear com aumento de abertura do *choke*. Dessa forma, para que o poço produza de forma estabilizada o ideal é trabalhar com aberturas acima desse valor. Espera-se com esses resultados que a maior vazão de óleo e menor RGO serão alcançadas mantendo o *choke* com abertura de produção em cerca de 12/64 in.

Conclusões

Com os resultados apresentados foi possível verificar que a RGO possui comportamento crescente com aumento de abertura da restrição, causado pela maior liberação do gás no instante em que este alcança a pressão à montante do *choke*. Verificou-se também que para aberturas muito pequenas, menores do que 12/64 in, a pressão à montante apresenta-se de forma irregular, sendo que para aberturas acima de 12/64 in a pressão cai lineamente com o aumento de abertura no *choke*. Dessa

forma espera-se que mantendo uma abertura de 12/64 in o poço produza com maior vazão e menor RGO.

Assim sendo, a caracterização do escoamento gás-líquido no *choke bean* do poço 01-FMO-001-BA gera informações suficientes para que seja utilizado como ferramenta no sentido de maximizar a sua produção.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração do Projeto Campo-Escola (UFBA/ANP) pelo fornecimento dos dados de produção do poço 1-FMO-001-BA.

Referências Bibliográficas

- ACHONG, I. Revised Bean Performance Formula for Lake Maracaibo Wells. Internal Report. 1961.
- BAXENDELL, P. B. Producing Wells on Casing Flow: An Analysis of Flowing Pressure Gradients. Trans. AIME. 213. p. 202-207, 1958.
- BROWN, K. E. The Technology of Artificial Lift Methods. Tulsa, Oklahoma: PennWell Publishing Company. v.1, p. 235 – 260, 1977.
- CÂMARA, R. J. B. Campos Maduros e Campos Marginais: Definições para Efeitos Regulatórios. Universidade Salvador, Salvador, p. 139, 2004.
- FORTUNATI, F. Two-Phase Flow Through Wellhead Chokes. SPE 3742, presented at SPE European Meeting, 1972.
- GILBERT, W. E. Flowing and Gas-Lift Well Performance. Drilling and Production Practice, API. 143. p. 127 – 157, 1954.
- NASCIMENTO, J. C. S. Otimização de Escoamento Multifásico: Um estudo no Poço 1-FMO-001-BA. Graduation conclusion work. Universidade Federal da Bahia, Salvador, p. 91, 2011.
- ROS, N. C. J. Simultaneous Flow of Gas and Liquid as Encountered in Well Tubing. Journal of Petroleum Technology, p. 1963, 1961.