

5 Análise do Fluxo de Gás Através de *Chokes*

5.1 Introdução

A vazão de fluxo de quase todos os poços fluentes é controlada por um *choke* na cabeça do poço, um dispositivo que impõe uma restrição à linha de fluxo¹¹, *figura 5.1*. Os *chokes* normalmente fazem parte do conjunto da árvore de surgência, ou seja, entre a tubulação de produção e a linha de descarga, *figura 5.2*. No estudo de poços, é necessário conhecer o funcionamento do choke que é utilizado para controlar a vazão de produção e assegurar sua estabilidade.

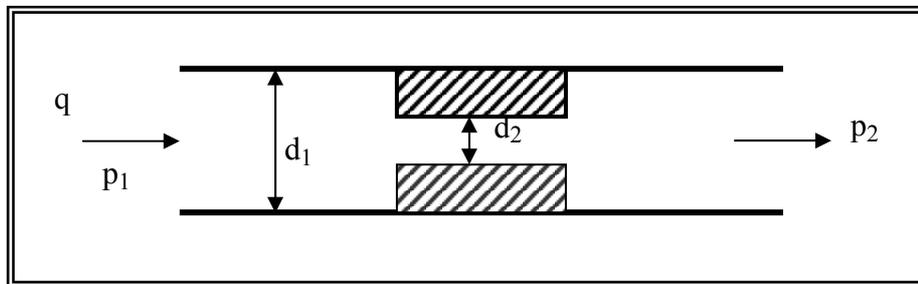


Figura 5.1 Esquema do choke

Os *chokes* consistem em placas de metal com um pequeno orifício para permitir o fluxo; são os dispositivos de restrição mais comuns, usados para causar uma queda de pressão ou reduzir a vazão de fluxo. São capazes de causar grandes quedas de pressão: um gás que entre em um *choke* a 5000 *psia* pode sair a 2000 *psia* ou menos. Os *chokes* têm, portanto, várias aplicações como dispositivos de controle na indústria de petróleo e gás. A seguir algumas das aplicações para os quais os *chokes* de superfícies podem ser utilizados são para:

- ✚ Manter uma vazão de fluxo permissível na cabeça poço.
- ✚ Controlar a vazão de produção.
- ✚ Proteger as equipes de superfície.
- ✚ Controlar e prevenir problemas de arejamento ao proporcionar suficiente contra pressão na formação produtora.
- ✚ Permitir a obtenção de informações para calcular o índice de produtividade em qualquer etapa da vida produtiva de um poço.
- ✚ Prevenir a coning de gás e água.

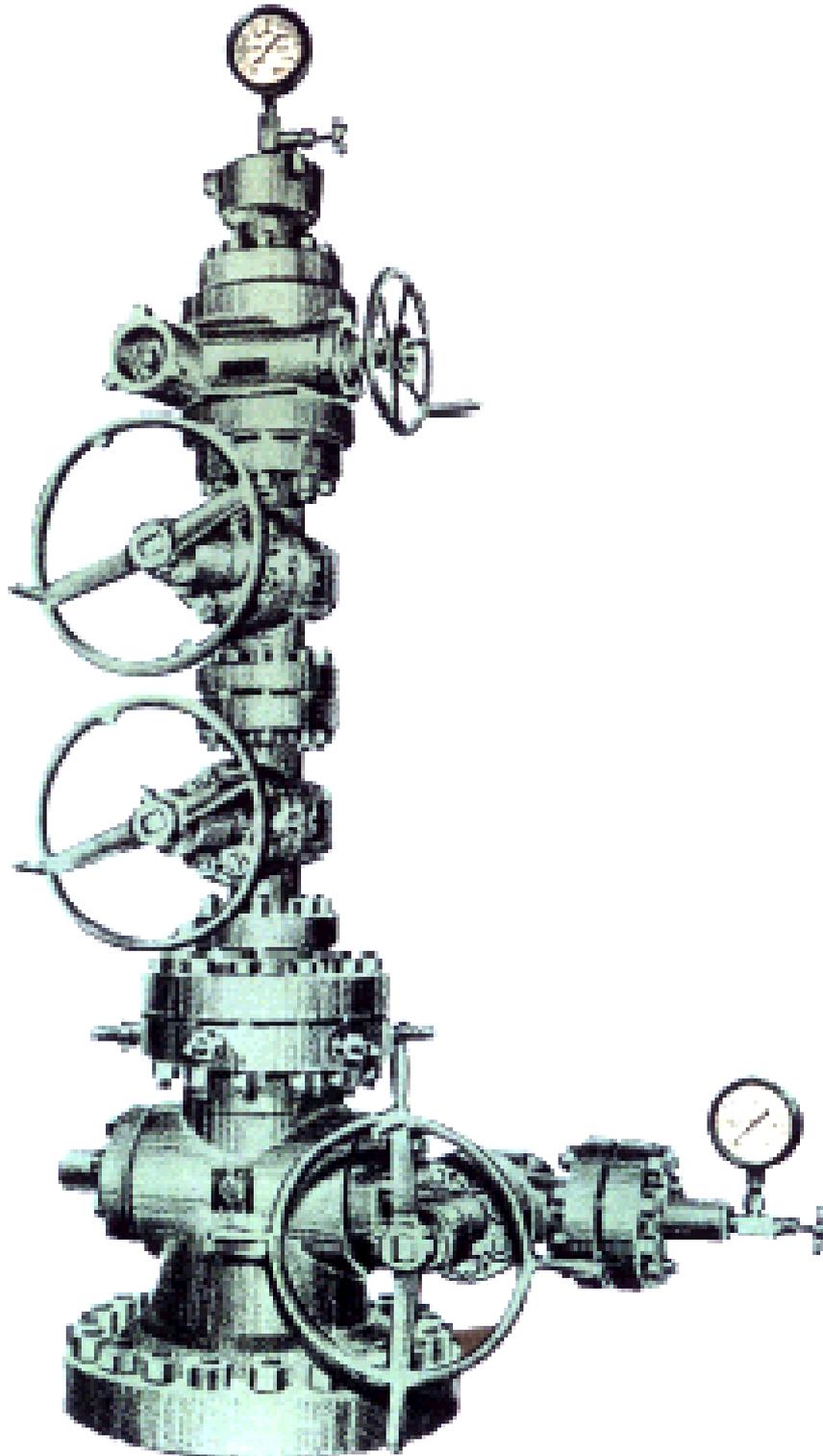


Figura 5.2 Localização do choke

5.2 Chokes superficiais

Existem diferentes tipos de *chokes* superficiais os quais encontram-se localizados no cabeçal do poço e nas linhas de fluxo.

A função principal do *choke* superficial é a de estrangular o fluxo para proporcionar estabilidade nas instalações superficiais. Os *chokes* superficiais têm sido projetados para permitir fácil acesso.

Os *chokes* superficiais podem ser classificados conforme seu desenho:

- Tipo positivo
- Tipo ajustável

5.2.1 Tipo positivo

É composto de um corpo ou caixa em cujo interior se pode instalar ou trocar manualmente diferentes diâmetros de orifícios, esse tipo de *choke* está representado nas *figuras 5.3 e 5.4*. Na maioria dos casos, é utilizado o *choke* de orifício positivo em função de sua simplicidade e baixo custo.

5.2.2 Tipo ajustável

É similar ao *choke* positivo, com exceção de que, para ajustar o diâmetro de abertura do orifício de fluxo, há uma varinha fina com graduações visíveis que indicam o diâmetro efetivo do orifício. A *figura 5.5* mostra as partes do *choke* do tipo ajustável.

5.3 Modelos de fluxo

O fluxo através de *chokes* em geral podem ser de dois tipos: *Subcrítico*¹² e *Crítico*¹².

5.3.1 Fluxo subcrítico

O fluxo é chamado subcrítico quando a velocidade do gás através das restrições é menor do que a velocidade do som no gás, e a vazão depende tanto da pressão a montante como da pressão a jusante. Os *chokes* sub-superficiais são normalmente projetados para permitir o fluxo subcrítico.

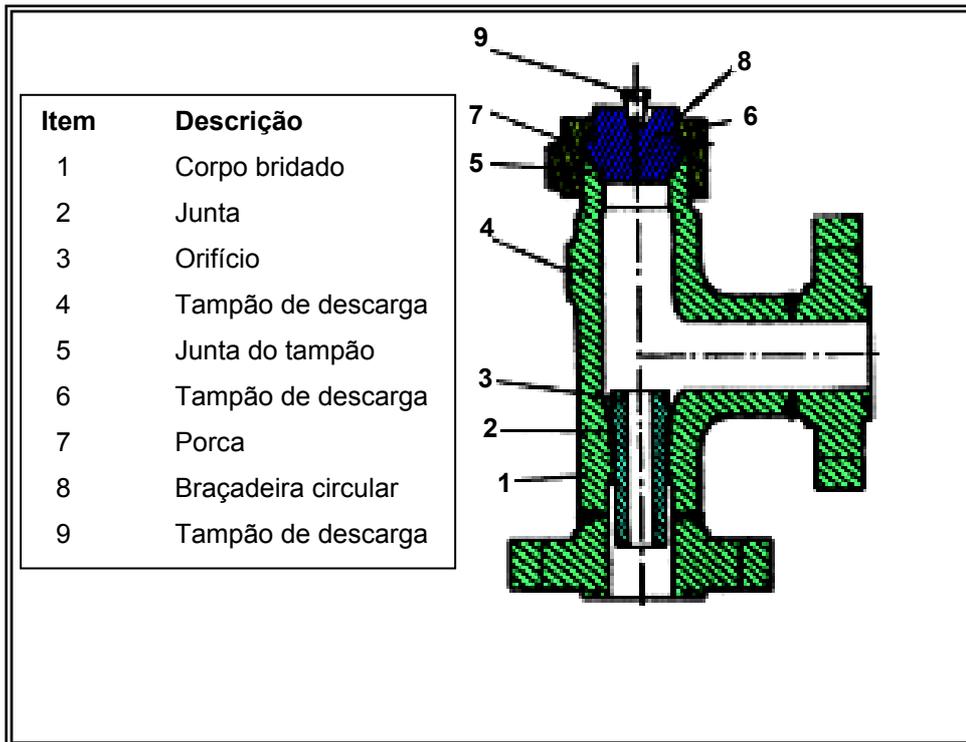


Figura 5.3 Porta orifícios tipo positivo

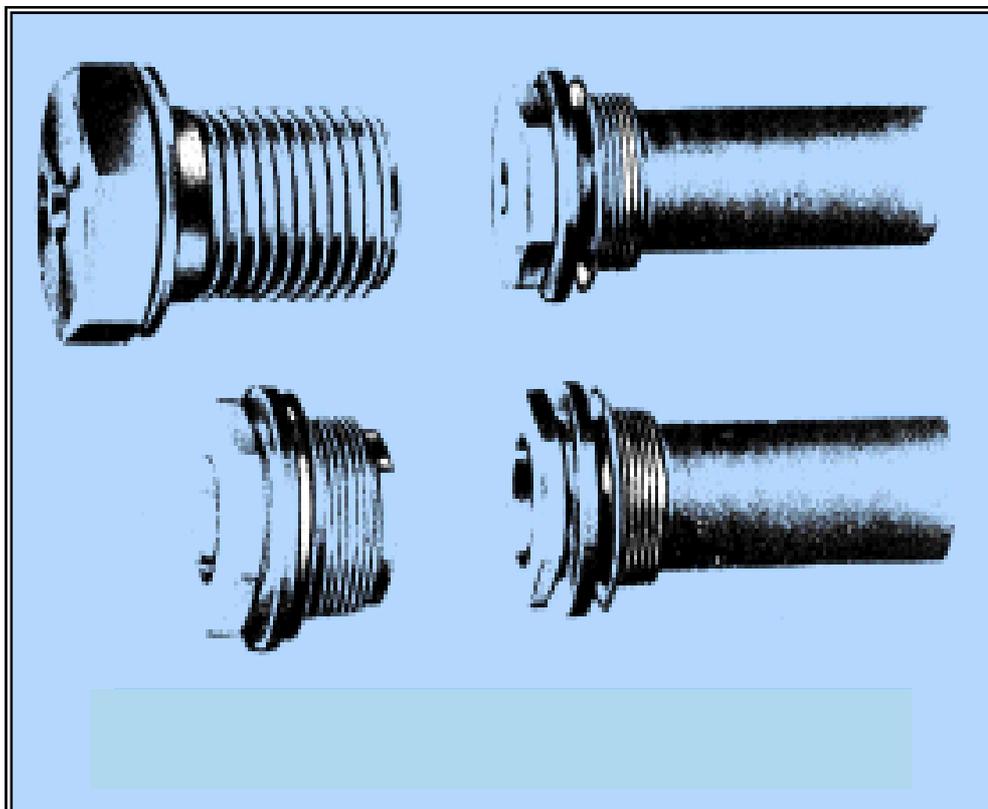


Figura 5.4 Chokes positivos

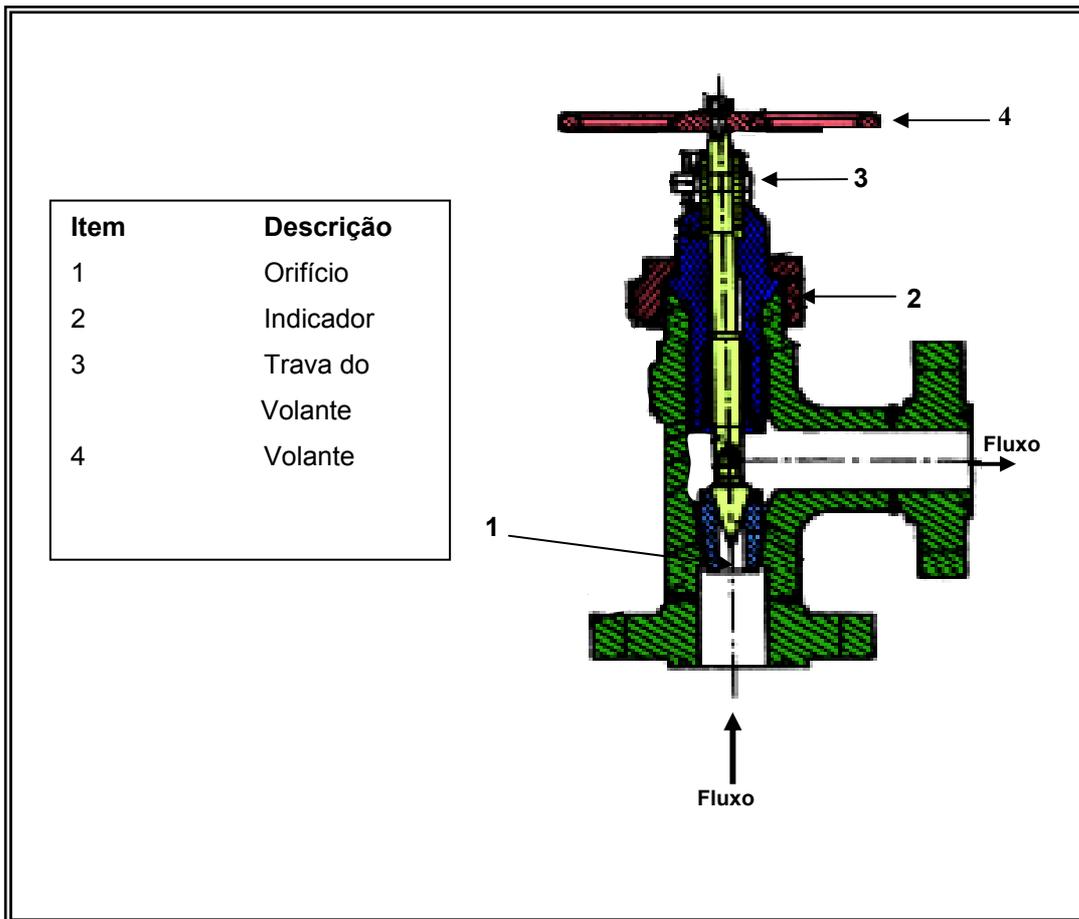


Figura 5.5 Válvula de agulha regulável

5.3.2

Fluxo crítico

O fluxo é chamado crítico quando a velocidade do gás através das restrições é igual à velocidade do som (perto de 1100 ft/sec para o ar) no gás. A velocidade máxima na qual um efeito de pressão ou uma perturbação pode ser propagada através de um gás não pode exceder a velocidade do som no gás. Assim, uma vez que a velocidade do som seja alcançada, um aumento ainda maior na diferencial de pressão não aumentará a pressão na garganta do *Choke*. Portanto, a vazão de fluxo não pode exceder a vazão de fluxo crítico conseguido quando a razão de pressão a jusante P_2 e a montante P_1 chega a um valor crítico, ainda que esta pressão seja decrescida. Ao contrário do fluxo subcrítico, a vazão de fluxo em fluxo crítico depende somente da pressão a montante, porque as perturbações de pressão que trafegam na velocidade do som implicam que uma perturbação de pressão na extremidade a jusante não terá efeito algum sobre a pressão a montante

ou sobre a vazão de fluxo. Os *chokes* de superfície são normalmente projetados para fornecer um fluxo crítico.

5.4

Fluxo de gás através de restrições

A equação geral para fluxo através de restrições pode ser obtida combinando-se a equação de *Bernoulli* com a equação de estado. As perdas irreversíveis ou perdas de atrito são explicadas por um coeficiente de descarga, que depende do tipo de restrição. A seguinte equação é válida somente no regime subcrítico até o fluxo crítico, quando a máxima velocidade de fluxo (igual à velocidade de som) é atingida.

$$q_{sc} = 974,61 C_d p_1 d_{ch}^2 \left(\frac{1}{\gamma_g T_1} \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{2/k} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k+1)/k} \right] \right)^{0,5} \quad eq.(5.1)$$

onde

- q_{sc} = Vazão de fluxo de gás, Mscfd (a 14,7 psia e 520°R).
- d_{ch} = Diâmetro do Choke, in.
- p_1 = Pressão a montante do Choke, psia.
- p_2 = Pressão a jusante do Choke, psia
- T_1 = Temperatura de entrada (upstream), °R.
- C_d = Coeficiente de descarga que depende da relação de diâmetros da tubulação e da restrição, do número de Reynold e a geometria do dispositivo, geralmente considera-se 0,865.
- k = Relação de calores específicos (c_p/c_v), sem dimensão.
- γ_g = Densidade do gás (para o ar=1)

Se a razão de pressão na qual o fluxo crítico ocorre é representada por $(p_2/p_1)_c$, então, através do cálculo elementar, pode ser demonstrado que:

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)_c = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/(k-1)} \quad \text{eq.(5.2)}$$

O fluxo é subcrítico para $(p_2/p_1) > (p_2/p_1)_c$ e crítico para $(p_2/p_1) \leq (p_2/p_1)_c$, se a razão da pressão de operação é menor que a razão de pressão crítica, a razão de pressão da equação 5.1 deve ser substituída pela razão de pressão crítica, pois a razão de fluxo máxima através do *choke* é aquela que corresponde ao fluxo crítico.

O valor de k normalmente é assumido como uma constante. $k \cong 1.293$ para uma gravidade de 0.63. Geralmente, o valor de k utilizado entre 1.25 e 1.31, implicando a partir do relacionamento representado pela equação 5.2 que o fluxo é crítico quando a razão de pressão está na região de 0.5549 (para $k = 1.25$) a 0.5439 (para $k = 1.31$). O fluxo é considerado crítico quando a razão de pressão é menor ou igual a 0.55, o que implica que k esteja a 1.275 aproximadamente. Substituindo-se $(p_2/p_1)_c = 0.55$, e $k=1.275$ na equação 5.1, resulta:

$$q_{sc} = \frac{456.71 C_d p_1 d_{ch}^2}{(\gamma_g T_1)^{0.5}} \quad \text{eq.(5.3)}$$

onde

q_{sc} = Vazão de fluxo de gás, Mscfd (a 14,7 psia e 520°R).

d_{ch} = Diâmetro do Choke, in.

p_1 = Pressão a montante do Choke, psia.

T_1 = Temperatura de entrada (ou upstream), °R.

C_d = Coeficiente de descarga, 0.865

γ_g = Densidade do gás (para o ar=1)

A máxima vazão de fluxo de gás ocorre quando o fluxo é crítico. Para qualquer valor da razão de pressão abaixo do valor crítico.