



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0922775-0 B1**



**(22) Data do Depósito: 02/12/2009**

**(45) Data de Concessão: 03/09/2019**

---

**(54) Título:** MÉTODO PARA DETERMINAR INTEGRIDADE DA FORMAÇÃO DURANTE A PERFURAÇÃO DE UM FURO DE POÇO

**(51) Int.Cl.:** E21B 21/08.

**(30) Prioridade Unionista:** 03/12/2008 US 12/326925.

**(73) Titular(es):** SCHLUMBERGER HOLDINGS LIMITED.

**(72) Inventor(es):** OSSAMA SEHSAH.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2009066422 de 02/12/2009

**(87) Publicação PCT:** WO 2010/065646 de 10/06/2010

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 03/06/2011

**(57) Resumo:** MÉTODOS PARA DETERMINAR INTEGRIDADE DA FORMAÇÃO, OS PARÂMETROS OPERACIONAIS ÓTIMOS DE PERFURAÇÃO, E UMA PRESSÃO DE FLUIDO ÓTIMA EM UMA COROA ANULAR DE FURO DE POÇO, DURANTE A PERFURAÇÃO DE UM FURO DE POÇO Um método para determinar integridade de formação durante a perfuração de um furo de poço inclui determinar uma pressão de fluido da coroa anular em um furo de poço durante perfuração do mesmo. A pressão da coroa anular é ajustada em uma quantidade predeterminada. A vazão do fluido de perfuração para dentro do furo de poço é comparada com a taxa do fluxo de fluido de perfuração pra fora do furo de poço. Pelo menos um de uma pressão de poro de formação e uma pressão de fratura de formação é determinado pela pressão anular quando as vazões comparadas diferem em uma quantidade selecionada. O método alternativamente para determinar a pressão de poro e/ou fratura inclui determinar uma resposta do furo de poço à pressão de fluido ajustada e determinar a pressão ótima do fluido da coroa anular pela resposta do furo de poço.

“MÉTODO PARA DETERMINAR INTEGRIDADE DA FORMAÇÃO DURANTE A PERFURAÇÃO DE UM FURO DE POÇO”

**Fundamentos da Invenção**

Campo da Invenção

5 A invenção refere-se genericamente ao campo de perfurar furos de poço através das formações de rocha de subsuperfície. Mais especificamente, a invenção refere-se a métodos para determinar e manter a pressão de fluido de furo de poço ótima durante a perfuração e utilização das medições de resposta de pressão de fluido de furo de poço, para determinar  
10 integridade da formação e parâmetros operacionais ótimos de perfuração.

Fundamentos da Arte

A exploração para e produção de hidrocarbonetos das formações de rocha de sub-superfície requerem dispositivos pra alcançar e extrair os hidrocarbonetos das formações rochosas. Tais dispositivos são  
15 tipicamente furos de poço a partir da superfície da terra até as formações rochosas contendo hidrocarbonetos na sub-superfície. Os furos de poço são perfurados utilizando-se um aparelho de perfuração. Em sua forma mais simples, um aparelho de perfuração é um dispositivo usado para suportar uma broca fixada na extremidade de um tubo conhecido como uma “coluna de  
20 perfuração”. Uma coluna de perfuração é tipicamente formada de extensões de tubos de perfuração ou segmentos tubulares similares, rosqueadamente conectados extremidade com extremidade. A coluna de perfuração é longitudinalmente suportada pela estrutura do aparelho de perfuração na superfície e pode ser girada por dispositivos associados com a coluna de  
25 perfuração, tal como um acionador de topo, ou unidade de barramento kelly/kelly. Um fluido de perfuração composto de um fluido de base, tipicamente água ou óleo, e vários aditivos, é bombeado uma abertura central abaixo da coluna de perfuração. O fluido deixa a coluna de perfuração através das aberturas chamadas “jatos” no corpo da broca rotativa. O fluido de

perfuração então circula de volta para a superfície em um espaço da coroa anular formado entre a parede do furo de poço e a coluna de perfuração, transportando as aparas da broca, a fim de limpar o furo de poço. O fluido de perfuração é também formulado de modo que a pressão do fluido aplicada pelo fluido de perfuração seja tipicamente maior do que a pressão de fluido da formação circundante, desse modo evitando que fluidos de formação entrem no furo de poço e colapso do furo de poço. Entretanto, tal formulação também deve prover que a pressão hidrostática não exceda a pressão em que as formações expostas pelo furo de poço falharão (fraturarão).

10                   É sabido na técnica que a pressão real exercida pelo fluido de perfuração (“pressão hidrodinâmica”) é relacionada com sua formulação como explicado acima, suas outras propriedades reológicas, tais como viscosidade, e a taxa em que o fluido de perfuração é movido através da coluna de perfuração para dentro do furo de poço. É também sabido na técnica que, por controle adequado da descarga do fluido de formação do furo de poço através do espaço da coroa anular, é possível exercer pressão no espaço da coroa anular, entre a coluna de perfuração e a parede do furo de poço, que excede as pressões hidrostática e hidrodinâmica em uma quantidade selecionada. Foram desenvolvidos numerosos sistemas de perfuração chamados “controle de pressão da coroa anular dinâmico” (DAPC), que realizam o precedente controle de descarga de fluido. Um tal sistema é descrito, por exemplo, na Patente U.S. No. 6.904.981, concedida para van Riet e cedida para o cessionário da presente invenção. O sistema DAPC descrito na patente ‘981 inclui um sistema de contrapressão de fluido em que a descarga de fluido do furo de sondagem é seletivamente controlada para manter uma pressão selecionada no fundo do furo de sondagem, e o fluido é bombeado sistema de retorno de fluido de perfuração abaixo, para manter a pressão da coroa anular durante ocasiões em que os bombeamentos de lama são desligados (e nenhuma lama é bombeada através da coluna de

perfuração). Um sistema de monitoramento de pressão é ainda provido para monitorar pressões de furo de sondagem detectadas, pressões de furo de sondagem esperadas pelo modelo para perfuração adicional e para controlar o sistema de contrapressão de fluido. A Patente U.S. No. 7.395.878, concedida para Reitsma et al e cedida ao cessionário da presente invenção, descreve uma  
5 diferente forma de sistema DAPC.

A formulação do fluido de perfuração e quando usada, controle suplementar sobre a descarga de fluido, tal como pela utilização de um sistema DAPC, são destinados a prover uma pressão de fluido selecionada dentro do furo de poço durante a perfuração. Tal pressão de fluido é, como  
10 explicado acima, selecionada de modo que a pressão do fluido dos espaços de poro de certas formações de sub-superfície não entre no furo de poço; de modo que o furo de poço permaneça mecanicamente estável durante operações de perfuração continuadas e de modo que a formação de rocha  
15 exposta não seja hidraulicamente fraturada durante operações de perfuração. Os sistemas DAPC, em particular, provêm aumentada capacidade para controlar a pressão de fluido no furo de poço durante as operações de perfuração, sem necessidade de reformular o fluido de perfuração extensamente. Como explicado nas patentes referidas acima, empregando-se  
20 sistemas DAPC pode-se também possibilitar perfuração de furos de poço através das formações, tendo pressões de fluido e pressões de fratura de modo que a perfuração usando-se somente fluido de perfuração formulado e descarga de fluido descontrolada do furo de poço é essencialmente impossível.

25 A seleção da correta pressão de fluido de furo de poço, mesmo quando se utiliza sistemas DAPC, entretanto, requer pelo menos estimativa anterior da pressão do fluido e das pressões de fratura das formações sendo perfuradas. Técnicas conhecidas na técnica para estimativa de tais pressões incluem análise de levantamentos sísmicos e levantamentos de gravidade.

Outras técnicas podem incluir estimativas refinadas feitas de levantamentos sísmicos e de gravidade, usando-se medições de perfuração reais e/ou medições de pressão de fluido de furos de poço vizinhos. Independente das técnicas usadas para estimar as pressões do fluido de formação e pressões de fratura, as pressões de fluido reais e pressões de fratura encontradas durante a perfuração do furo de poço podem ser diferentes daquelas previstas ou estimadas. A estimativa imprecisa das pressões de fluido e das pressões de fratura pode resultar em reduzida eficiência de perfuração, aumentado risco de fratura de formação, aumentado risco de colapso do furo de poço, aumentado risco de falhas de perfuração, tais como a coluna de perfuração de tubo ficar atolada no furo de poço, e aumentado risco de colocação de tubo ou tubos de revestimento protetores em incorretas profundidades, com respeito às reais pressões de fluido de formação e pressões de fratura.

Há necessidade de técnicas para estimar as pressões de fluido de poro de formação e pressões de fratura de formação enquanto perfura, a fim de melhor definir a integridade da formação para correta seleção da profundidade dos tubos de revestimento e a fim de melhor selecionar os parâmetros operacionais da perfuração para eficiente perfuração.

### **Sumário da Invenção**

Um método para determinar integridade da formação durante a perfuração de um furo de poço, de acordo com um aspecto da invenção, inclui determinar a pressão do fluido da coroa anular de um furo de poço durante perfuração do mesmo. A pressão da coroa anular é ajustada por um valor predeterminado. A vazão do fluido de perfuração para dentro do furo de poço é comparada com a vazão do fluido de perfuração pra fora do furo de poço. Pelo menos uma de uma pressão de poro de formação e uma pressão de fratura de formação é determinada quando as vazões comparadas diferem em uma quantidade selecionada.

Um método para determinar os parâmetros operacionais

ótimos de perfuração durante a perfuração de um furo de poço de acordo com outro aspecto da invenção inclui determinar a pressão do fluido da coroa anular de um furo de poço durante perfuração do mesmo. A pressão da coroa anular é ajustada em um valor predeterminado. Pelo menos um de carga de gancho, torque de coluna de perfuração, vazão de fluido de perfuração para dentro do poço e uma taxa de prolongamento do furo de poço é medida. A vazão é mudada enquanto mantém-se a pressão do fluido de uma coroa anular de furo de poço próxima do fundo do furo de poço substancialmente constante. A medição de pelo menos um de uma carga de gancho, torque de coluna de perfuração e taxa de prolongamento é repetida. Os valores ótimos da vazão e pressão da coroa anular de furo de poço são determinados usando-se a carga de gancho medida, o torque da coluna de perfuração e taxa de prolongamento.

Outros aspectos e vantagens da invenção serão evidentes pela seguinte descrição e as reivindicações anexas.

### **Breve Descrição dos Desenhos**

A Fig. 1 mostra um exemplo de uma unidade de perfuração de furo de poço, incluindo um sistema de controle da pressão anular dinâmico (DAPC).

A Fig. 2 mostra um exemplo da pressão de poro e pressão de fratura de formações de rocha de sub-superfície e os limites de pressão de fundo de furo, estabelecidas por um método exemplo.

A Fig. 3 mostra um exemplo da pressão de poro e pressão de fratura de formações rochosas de sub-superfície, e pressão de fundo de furo e limites mecânicos estabelecidos por um método exemplo.

A Fig. 4 mostra um fluxograma de um método exemplo.

A Fig. 5 mostra um fluxograma de outro método exemplo.

### **Descrição Detalhada**

Os métodos de acordo com a presente invenção em geral

fazem uso de um sistema de controle de pressão de coroa anular dinâmico (DAPC) durante a perfuração de um furo de poço, para ajustar a pressão do fluido em uma coroa anular de furo de poço para valores selecionados durante a perfuração e testar a resposta do furo de poço a tal ajustamento. O teste da resposta de furo de poço pode incluir determinar se o fluido está entrando ou sendo perdido do furo de poço. O teste da resposta do furo de poço pode também incluir determinar a resposta de um sistema de perfuração para a pressão mudada, a fim de selecionar, por exemplo, a pressão de fluido ótima e a vazão do fluido de perfuração.

Um exemplo de uma unidade de perfuração perfurando um furo de poço através das formações de rocha de sub-superfície, incluindo um sistema de controle de pressão de coroa anular dinâmico (DAPC), é mostrado esquematicamente na Fig. 1. A operação e detalhes do sistema DAPC podem ser substancialmente como descritos na Patente U.S. No. 7.395.878, concedida para Reitsma et al. e cedido ao cessionário da presente invenção ou podem ser como descrito na Patente U.S. No. 6.904.981, concedida para van Riet e cedida ao cessionário da presente invenção.

O sistema de perfuração 100 inclui um dispositivo de içamento conhecido como um aparelho de perfuração 102, que é usado para suportar operações de perfuração através das formações de rocha de sub-superfície, tais como mostrado em 104. Muitos dos componentes usados no aparelho de perfuração 102, tais como um Kelly (ou acionador de topo), tenaz de força, corrediças, guindastes e outros equipamentos, não são mostrados para clareza de ilustração. Um furo de poço 106 é mostrado sendo perfurado através das formações de rocha 104. Uma coluna de perfuração 112 é suspensa pelo aparelho de perfuração 102 e se estende para dentro do furo de poço 106, desse modo formando um espaço anular (coroa anular) 115 entre a parede do furo de poço 106 e a coluna de perfuração 112 e/ou entre um revestimento 101 (quando incluído no furo de poço) e a coluna de perfuração 112. Uma das

funções da coluna de perfuração 112 é transportar um fluido de perfuração 150 (mostrado em um tanque ou cova de armazenagem 136), cujo uso é para fins como explicado na seção Fundamentos aqui, para o fundo do furo de poço 106 e para dentro da coroa anular do furo de poço 115.

5                   A coluna de perfuração 112 suporta uma unidade de fundo de furo (“BHA”) 113 próximo de sua extremidade inferior, que inclui uma broca 120, e pode incluir um motor de lama 118, um pacote sensor 119, uma válvula de retenção (não mostrada) para evitar corrente de retorno do fluido de perfuração da coroa anular 115 para dentro da coluna de perfuração 112. O

10                   pacote sensor 119 pode ser, por exemplo, um sistema sensor de medição enquanto perfura e perfilação enquanto perfura (MWD/LWD). Em particular, a BHA 113 pode incluir um transdutor de pressão 116 para medir a pressão do fluido de perfuração dentro da coroa anular 115, próximo do fundo do furo de poço 106. A BHA 113 mostrada na Fig. 1 pode também incluir um

15                   transmissor de telemetria 122, que pode ser usado para transmitir as medições de pressão feitas pelo transdutor 116, medições MWD/LWD, bem como informações de perfuração a serem recebidas na superfície. Uma memória de dados, incluindo uma memória de dados de pressão, pode ser provida em um local conveniente na BHA 113 para armazenagem temporária da pressão

20                   medida e outros dados (p. ex., dados MWD/LWD) antes da transmissão dos dados empregando-se o transmissor de telemetria 122. O transmissor de telemetria 122 pode ser, por exemplo, uma válvula controlável que module o fluxo do fluido de perfuração através da coluna de perfuração 112, para criar variações de pressão detectáveis na superfície. As variações de pressão podem

25                   ser codificadas para representar sinais do sistema MWD/LWD e do transdutor de pressão 116.

                  O fluido de perfuração 150 pode ser armazenado em um reservatório 136, que é mostrado na forma de um tanque ou cova de lama. O reservatório 136 fica em comunicação fluida com a admissão de uma ou mais

bombas de lama 138 que, em operação, bombeiam o fluido de perfuração 150 através do conduto 140. Um medidor de fluxo opcional 152 pode ser provido em série com uma ou mais bombas de lama 138, a montante ou a jusante delas. O conduto 140 é conectado a giradores selados de pressão (não mostrados), acoplados ao segmento mais superior (“junta”) da coluna de perfuração 112. Durante operação, o fluido de perfuração 150 é elevado do reservatório 136 pelas bombas 138, é bombeado através da coluna de perfuração 112 e da BHA 113 e deixa bicos ou cursos atravessantes (não mostrados) na broca 120, onde ele circula as aparas para longe da broca 120 e retorna-as para a superfície através da coroa anular 115. O fluido de perfuração 150 retorna para a superfície e atravessa um conduto de descarga de fluido de perfuração 124 e, opcionalmente, através de várias colunas de oscilação hidráulica e sistemas de telemetria (não mostrados) para ser retornado, finalmente, para o reservatório 136.

Uma vedação isolante de pressão para a coroa anular 115 é provida na forma de uma cabeça de controle rotativa fazendo parte de um protetor contra explosões (“BOP”) 142. A coluna de perfuração 112 passa através do BOP 142 e sua cabeça de controle rotativa associada. Quando acionada, a cabeça de controle rotativa do BOP 142 sela em torno da coluna de perfuração 112, isolando a pressão de fluido abaixo dela, porém ainda possibilitando a rotação e movimento longitudinal da coluna de perfuração. Alternativamente, um BOP rotativo (não mostrado) pode ser usado para essencialmente a mesma finalidade. A selagem de isolamento de pressão forma uma parte de um sistema de contrapressão usado para manter uma pressão de fluido selecionada na coroa anular 115.

Quando o fluido de perfuração retorna para a superfície, ele vai através de uma saída lateral, embaixo da selagem de isolamento de pressão (cabeça de controle rotativa), para um sistema de contrapressão configurado para prover uma contrapressão ajustável no fluido de perfuração

da coroa anular 115. O sistema de contrapressão compreende um dispositivo restritivo de fluxo variável, adequadamente na forma de um estrangulador resistente a desgaste 130. Observamos que existem estranguladores projetados para operar em um ambiente em que o fluido de perfuração 150 contém substanciais aparas de perfuração e outros sólidos. O estrangulador 130 é um de tal tipo e é ainda capaz de operar em variáveis pressões, vazões e através de múltiplos ciclos de atividade.

O fluido de perfuração 150 deixa o estrangulador 130 e flui através de um medidor de fluxo opcional 126 para ser direcionado através de um desgaseificador 1 opcional e equipamento de separação de sólidos 129. O desgaseificador 1 e o equipamento de separação de sólidos 129 são projetados para remover gás em excesso e outros contaminantes, incluindo aparas de perfuração, do fluido de perfuração 150. Após passar através do equipamento de separação de sólidos 129, o fluido de perfuração 150 é retornado pra o reservatório 136.

O medidor de fluxo 126 pode ser um tipo de equilíbrio-de-massa ou outro medidor de fluxo de alta-resolução. Um sensor de pressão 147 pode ser opcionalmente provido no conduto de descarga de fluido de perfuração 124, a montante do dispositivo restritivo de fluxo variável (p. ex., o estrangulador 130). Um medidor de fluxo, similar ao medidor de fluxo 126, pode ser colocado a montante do meio de contrapressão 131, além do sensor de contrapressão 147. Meios de controle de contrapressão, incluindo um sistema de monitoramento de pressão 146, são providos para monitorar dados relevantes para a pressão anular e prover sinais de controle para pelo menos o sistema de contrapressão 131 e, opcionalmente, também para o sistema de injeção de fluido e/ou a bomba primária.

Em termos gerais, a contrapressão requerida para obter-se a desejada pressão de coroa anular próximo do furo de poço 106 pode ser determinada obtendo-se em ocasiões selecionadas informações sobre a

pressão existente do fluido de perfuração dentro da coroa anular 115, nas vizinhanças da BHA 113, referida como a pressão de fundo de furo (BHP), comparando-se as informações com uma desejada BHP e utilizando-se o diferencial entre estas para determinar uma contrapressão de ponto de ajuste.

5 A contrapressão de ponto de ajuste é usada para controlar o sistema de contrapressão, a fim de estabelecer uma contrapressão próximo da contrapressão do ponto de ajuste. Informação concernente à pressão de fluido dentro da coroa anular 115 próximo da BHA 113 pode ser determinada usando-se um modelo hidráulico e medições de pressão de fluido de perfuração quando ele é bombeado para dentro da coluna de perfuração e a taxa em que o fluido de perfuração é bombeada para dentro da coluna de perfuração (p. ex., usando-se um medidor de fluxo ou um “contador de curso”, tipicamente provido com bombas de lama tipo pistão). A informação de BHP assim obtida pode ser periodicamente verificada e/ou calibrada utilizando-se medições feitas pelo transdutor de pressão 116.

A pressão do fluido de injeção em uma passagem de suprimento de fluido de injeção 143 representa um indicador relativamente preciso para a pressão do fluido de perfuração no vão do fluido de perfuração na profundidade em que o fluido de injeção é injetado dentro do vão de fluido de perfuração. Portanto, um sinal de pressão graduado por um sensor de pressão de fluido de injeção em qualquer parte da passagem de suprimento de fluido de injeção, p. ex., em 156, pode adequadamente ser usado para prover um sinal de entrada para controlar o sistema de contrapressão e para monitorar a pressão do fluido de perfuração na coroa anular do furo de poço 115.

25 O sinal de pressão pode, ser assim desejado, opcionalmente ser compensado pela densidade da coluna do fluido de injeção e/ou pela perda de pressão dinâmica que pode ser gerada dentro do fluido de injeção, entre o sensor de pressão de fluido de injeção da passagem de suprimento de fluido de injeção e onde a injeção para dentro da passagem de retorno do fluido de

perfuração ocorre, por exemplo, a fim de obter-se um valor exato da pressão da injeção na passagem de retorno do fluido de perfuração na profundidade em que o fluido de injeção é injetado dentro do vão de fluido de perfuração.

5 A pressão do fluido de injeção na passagem de suprimento de fluido de injeção 141 é vantajosamente utilizada para obter-se informação relevante para determinar a pressão de fundo de furo da corrente. Contudo que o fluido de injeção esteja sendo injetado dentro da corrente de retorno de fluido de perfuração, a pressão do fluido de injeção na profundidade de injeção pode ser admitida ser igual à pressão do fluido de perfuração no ponto  
10 de injeção 144. Assim, a pressão como determinada pelo sensor de pressão do fluido de injeção 156 pode vantajosamente ser usada para gerar um sinal de pressão para uso como um sinal de realimentação pra controlar ou regular o sistema de contrapressão.

15 Deve ser observado que a mudança na contribuição hidrostática para a pressão de fundo de furo, que resultaria de uma possível variação na taxa de injeção de fluido de injeção, está em estreita aproximação, compensada pelo reajuste controlado acima descrito do dispositivo de contrapressão. Assim, controlando-se o dispositivo de contrapressão de acordo com a invenção, a pressão do fluido no furo de sondagem é quase  
20 independente da taxa de injeção do fluido de injeção.

Uma possível maneira de utilizar-se o sinal de pressão correspondendo à pressão do fluido de injeção é controlar o sistema de contrapressão, a fim de manter a pressão do fluido de injeção em um certo valor constante adequado por toda a operação de perfuração ou conclusão. A  
25 precisão é aumentada quando o ponto de injeção 144 está em estreita proximidade do fundo do furo de sondagem.

Quando o ponto de injeção 144 não está próximo do fundo do furo de poço 106, a magnitude do diferencial de pressão, em relação à parte da passagem de retorno de fluido de perfuração, estendendo-se entre o ponto

de injeção 144 e o fundo do furo de poço 106, é preferivelmente para ser estabelecida. Para isto, um modelo hidráulico pode ser utilizado como será descrito abaixo.

5 Em um exemplo, a diferença de pressão do fluido de perfuração na passagem de retorno do fluido de perfuração de uma parte inferior do furo de poço 106, estendendo-se entre o ponto de injeção do fluido de injeção e o fundo do furo de poço, pode ser calculada usando-se um modelo hidráulico considerando entre outras a geometria do poço. Em razão de o modelo hidráulico ser geralmente somente usado para calcular o  
10 diferencial de pressão através de uma seção relativamente pequena do furo de poço 106, a precisão é esperada ser muito melhor do que quando o diferencial de pressão através do inteiro comprimento do furo de poço deve ser calculado.

No presente exemplo, o sistema de contrapressão 131 pode ser  
15 provido com uma bomba de contrapressão 128, em comunicação fluida paralela com a coroa anular do furo de poço 115 e o estrangulador 130, para pressurizar o fluido de perfuração no conduto de descarga de fluido de perfuração 124, a montante do dispositivo restritivo de fluxo 130. A entrada da bomba de contrapressão 128 é conectada, via conduto 119, a um  
20 suprimento de fluido de perfuração, que pode ser o reservatório 136. Uma válvula de parada 125 pode ser provida no conduto 119A/B para isolar a bomba de contrapressão 128 do suprimento de fluido de perfuração. Opcionalmente, uma válvula 123 pode ser provida para seletivamente isolar a bomba de contrapressão 128 do sistema de descarga de fluido de perfuração.

25 A bomba de contrapressão 128 pode ser encaixada para assegurar que suficiente fluxo passe para o estrangulador 130 ser capaz de manter a contrapressão, mesmo quando houver fluxo insuficiente vindo da coroa anular do furo de poço 115, para manter a pressão no estrangulador 130. Entretanto, em algumas operações de perfuração pode ser com

frequência suficiente aumentar o peso do fluido contido na parte superior 149 da coroa anular do furo de poço, reduzindo a taxa de injeção do fluido de injeção quando a taxa de circulação do fluido de perfuração 150, via a coluna de perfuração 112 é reduzida ou interrompida.

5 O sistema de controle de contrapressão do presente exemplo pode gerar os sinais de controle para o sistema de contrapressão, adequadamente ajustando não somente o estrangulador variável 130, mas também a bomba 128 e/ou válvula 123 de contrapressão.

10 No presente exemplo, o reservatório de fluido de perfuração 136 compreende um tanque de viagem 2 além do tanque ou cova de lama. Um tanque de viagem é normalmente usado em um aparelho de perfuração, para monitorar os ganhos e perdas dos fluidos de perfuração durante o movimento da coluna de perfuração para dentro e para fora do furo de poço 106 (conhecidos como “operações de viagem”). Observa-se que o tanque de  
15 viagem pode não ser usado extensamente quando perfurando utilizando-se um sistema de fluido de multifases, tal como descrito acima, envolvendo injeção de um gás dentro da corrente de retorno do fluido de perfuração, porque o furo de poço 106 pode com frequência permanecer vivo ou o nível do fluido de perfuração dentro do poço cai quando a pressão do gás de injeção é  
20 sangrado. Entretanto, na presente forma de realização, a funcionalidade do tanque de viagem é mantida, por exemplo, para ocasiões em que um fluido de perfuração de alta densidade é bombeado para baixo em vez de em poços de alta pressão.

25 Um tubo de distribuição de válvula pode ser provido a jusante do sistema de contrapressão 131, para possibilitar a seleção do reservatório para o qual a lama de perfuração, retornando do furo de poço 106, é dirigida. No presente exemplo, o tubo de distribuição de válvula pode incluir uma válvula de duas direções 5, permitindo retorno do fluido de perfuração do furo de poço ou ser dirigido para a cova de lama 136 ou o tanque de viagem 2.

O tubo de distribuição de válvula pode também incluir uma válvula de duas direções 125, provida para o fluido de perfuração de alimentação 150 do reservatório 136 via conduto 119a ou do reservatório 2 via o conduto 119B para uma bomba de contrapressão 128, opcionalmente  
5 provida em comunicação de fluido paralela com a passagem de retorno de fluido de perfuração 115 e o estrangulador 130.

Em operação, a válvula 125 seria operada para selecionar o conduto 119A ou o conduto 119B e a bomba de contrapressão 128 contatada para assegurar que suficiente fluxo passe pelo sistema de estrangulamento,  
10 para ser capaz de manter a contrapressão, mesmo quando não houver fluxo vindo da coroa anular 115. Diferente da passagem de fluido de perfuração dentro da coluna de perfuração, a passagem de suprimento de fluido de injeção pode preferivelmente ser dedicada a uma tarefa, que é suprimento do fluido de injeção para injeção dentro do vão de fluido de perfuração. Desta  
15 maneira, sua interação hidrostática e hidrodinâmica com o fluido de injeção pode ser precisamente determinada e mantida constante durante uma operação, de modo que o peso do fluido de injeção e a perda de pressão dinâmica na passagem de suprimento possam ser precisamente estabelecidos.

A descrição do sistema de perfuração acima com referência à  
20 Fig. 1 é para prover um exemplo de perfuração de um furo de poço empregando um sistema DAPC que possa manter uma pressão de fluido de coroa anular selecionada próxima do fundo do furo de poço 106, isto é, a acima descrita BHP. Tal sistema pode incluir um modelo hidráulico que, como explicado acima, utiliza como entrada as propriedades reológicas da  
25 lama de perfuração 150, a taxa em que a lama flui para dentro do furo de poço, a configuração do furo de poço e coluna de perfuração, pressão sobre o conduto de descarga e, se disponível, medições da pressão do fluido da coroa anular (p. ex., do transdutor 116) próximo do fundo do furo de poço para cálculos de suplemento ou refino feitos pelo modelo hidráulico.

Em métodos de acordo com a presente invenção, o sistema DAPC pode ser operado em uma maneira específica para prover uma medida da integridade da formação enquanto operações de perfuração estão em andamento e pode também ser operado de uma maneira específica para prover indicações de valores ótimos de parâmetros operacionais de perfuração. “Parâmetros operacionais de perfuração” como aqui usado é destinado a significar parâmetros que estão dentro do controle do operador do aparelho de perfuração e podem incluir, por exemplo, a força axial aplicada à broca 120 (aplicando parte da carga axial da coluna de perfuração 112 na broca 120). Os parâmetros operacionais de perfuração podem também incluir uma quantidade de torque aplicado para girar a coluna de perfuração 112 em uma velocidade selecionada. Os parâmetros operacionais de perfuração podem também incluir a taxa em que o fluido de perfuração 150 é movido dentro da coluna de perfuração (medida, p. ex., monitorando-se o medidor de fluxo 152) e a BHP selecionada.

Com referência agora à Fig. 2, as relações entre pressão de fluido de formação (“pressão de poro”) nos espaços de poro das formações rochosas (p. ex., 104 na Fig. 1) e a pressão de fluido (“pressão de fratura”) que, se presente dentro do furo de poço, pode causar falha ou fratura das formações, serão explicadas para ilustrar um método exemplo da invenção. Como explicado acima, o fluido de perfuração (150 na Fig. 1) é movido através da coluna de perfuração (112 na Fig. 1) para circular aparas de perfuração e para prover pressão de fluido na coroa anular (115 na Fig. 1). A pressão de fluido na coroa anular (115 da Fig. 1) é necessária para evitar que fluidos dos espaços de poro de certas formações rochosas permeáveis entrem no furo de poço (106 da Fig. 1) e para evitar desabamento ou colapso do furo de poço. Tal função é realizada provendo-se o fluido de perfuração com uma densidade selecionada e, como é explicado na patente ‘878 de Reitsma et al, por exemplo, controlando-se a pressão dentro do conduto de descarga de

fluido de perfuração (p. ex., utilizando-se sistema de contrapressão) através de uma combinação da operação de estrangulamento, injeção de fluido e aplicação de contrapressão. Contrariamente, a pressão de fluido na coroa anular do furo de poço não deve ser permitida exceder a pressão de fratura ou  
5 o fluido de perfuração será perdido para dentro das formações sujeitas a fratura, como resultado de exceder a pressão de fratura.

Acredita-se em geral que a pressão de fratura de formação de qualquer formação particular na sub-superfície é relacionada com o peso das formações de rocha acima da formação particular na sub-superfície (chamada  
10 “sobrecarga”) e à pressão de fluido nos espaços porosos da formação (“pressão de poros”). A curva 12 da Fig. 2 mostra que a pressão de fratura esperada geralmente aumenta com respeito à profundidade na sub-superfície. A pressão de poros da formação é mostrada pela curva 10. Geralmente, a pressão da formação aumenta com respeito à profundidade, entretanto sabe-se  
15 que certas formações podem ter pressões de poro mais baixas que sobrepõem formações. tal situação é refletida pela curva 10 começando em uma profundidade de cerca de 9900 pés (3,017 km). As relações de pressão mostradas na Fig. 2 são comuns, por exemplo, em formações de rocha de subsuperfície no Golfo do México nos Estados Unidos, onde formações tendo  
20 pressões de poro acima do gradiente hidrostático da salmoura (chamadas formações “sobrepessurizadas”) são subjazidas por formações tendo pressões de poro sucessivamente mais próximas do gradiente hidrostático da salmoura. A situação mostrada na Fig. 2 é conhecida como uma “inversão de pressão de poro”. O que é evidente na Fig. 2 é que a pressão de fratura não mais aumenta  
25 linearmente com respeito à profundidade. Se a BHP (resultante da densidade do fluido de perfuração e da contrapressão) for mantida na expectativa de pressão de fratura mais elevada do que está atualmente presente, as formações podem fraturar. Observamos que as curvas mostradas na Fig. 2 são graduadas em unidades de pressão. As curvas mostradas na Fig. 2 são também

conhecidas na técnica serem graduadas em termos de gradiente de pressão. O gradiente de pressão é tipicamente expresso em unidades de densidade de fluido de perfuração equivalente (“peso da lama”); tais unidades conhecidas na técnica de perfuração de furo de poço de hidrocarbonetos incluem libras peso por volume de galão de fluido de perfuração (ppg).

As curvas do gráfico da Fig. 2 podem ser estimadas antes do início da perfuração do furo de poço. Tal estimativa pode ser feita, por exemplo, por análise de levantamentos de gravidade e sísmicos para estimar-se o peso das formações rochosas com respeito a profundidade, e análise de velocidade dos levantamentos sísmicos, para estimar a pressão do fluido. Tais técnicas são bem conhecidas na arte. Outras informações que podem estar disponíveis, tais como testes de pressão de fluido de formação e registros de perfuração de furo de poço vizinhos, podem ser usadas para refinar as estimativas feitas pelo levantamento da gravidade e sísmicos. A invenção é destinada a refinar outras estimativas da pressão de fratura e pressão de poro, enquanto operações de perfuração estão em andamento.

Por exemplo, um elemento importante de construção de furo de poço em situações tais como a mostrada na Fig. 2 é a colocação de um tubo ou revestimento (p. ex., 101 na Fig. 1) na correta profundidade para proteger as formações sujeitas a fratura e, tanto quanto possível, para hidraulicamente isolar as formações tendo mais baixas pressões de fluido, para evitar que a coluna de perfuração fique atolada dentro do furo de poço pela ação da pressão diferencial. A profundidade do revestimento correta é relacionada com a pressão de poro das formações expostas e com a pressão de fratura das formações expostas, entre outros fatores.

Em um método exemplo de acordo com a presente invenção, o sistema DAPC, p. ex., como explicado acima com referência à Fig. 1, é operado durante a perfuração para aumentar a pressão de fundo de furo acima do ponto de ajuste selecionado. O aumento da pressão de fundo de furo pode

ser realizada, por exemplo, por qualquer combinação de aumento da taxa de bombeio da bomba de lama (138 na Fig. 1), aumento da taxa de injeção de fluido na bomba de injeção (143 na Fig. 1), redução do orifício do estrangulador (130 na Fig. 1) e operação da bomba de contrapressão (128 na Fig. 1). O sistema DAPC pode ser operado para aumentar a pressão em incrementos selecionados, p. ex., 100 libras por polegada quadrada (psi) (7,03 kg/cm<sup>2</sup>) ou outro aumento selecionado. Quando a pressão de fundo de furo é sucessivamente aumentada, uma medição do volume do fluido de perfuração ou fluxo de entrada do furo de poço (“fluxo de entrada”) p. ex., usando-se o medidor de fluxo (152 na Fig. 1) ou usando-se o “contador de curso”, onde as bombas de lama (138 na Fig. 1) são bombas de pistão alternantes, é comparada com uma medição do volume de fluido de perfuração ou fluxo de massa de saída (“fluxo de saída”) do furo de poço, p. ex., usando-se o medidor de fluxo 126. Uma indicação de que menos fluido de perfuração está deixando o furo de poço do que está sendo bombeado para dentro do furo de poço por um valor limiar selecionado ou mais pode ser inferida como sendo uma indicação de que a pressão do fundo de furo está na ou próximo da pressão de fratura. Tal indicação pode ser usada para estabelecer um limite superior seguro para a pressão de fundo de furo, p. ex., ao longo da curva 13 da Fig. 2.

O sistema DAPC pode também ser operado para seletivamente reduzir a pressão de fundo de furo. Tal redução pode também ser feita em decrementos selecionados, por exemplo, 100 psi (7,03 kg/cm<sup>2</sup>). As medições do fluxo de saída e fluxo de entrada são feitas e comparadas para cada decremento. As medições do fluxo de saída que excederem as medições de fluxo de entrada acima de um valor limiar selecionado ou mais pode indicar entrada de fluido dentro poço, como resultado de insuficiente pressão de fundo de furo. Tais determinações podem ser usadas para estabelecer um limite de pressão de fundo de furo inferior seguro, p. ex., ao longo da curva

11 na Fig. 2.

Os procedimentos precedentes podem ser realizados durante perfuração ativa do furo de poço (isto é, quando o furo de poço é prolongado pela ação da broca). Como será apreciado por aqueles hábeis na arte, à medida que a perfuração continua, uma profundidade pode ser aproximada em que a mais baixa pressão segura pode aproximar-se da ou exceder à mais elevada pressão segura. Em tal profundidade, é tipicamente necessário estabelecer um tubo ou revestimento no furo de poço para proteger as formações de rocha de sub-superfície expostas, de modo que a perfuração possa continuar com segurança. Fazendo-se determinações de pressões seguras máxima e mínima durante a perfuração do furo de poço, em comparação com confiar-se em estimativas de pré-perfuração, espera-se que uma profundidade de revestimento máxima possível possa ser alcançada. Determinando-se uma profundidade de revestimento máxima possível usando-se a técnica precedente, pode ser possível evitar duas ocorrências que têm um impacto negativo sobre o furo de poço. Primeira, a colocação do revestimento demasiado raso pode ser evitada. A colocação do revestimento demasiado raso pode ter o efeito de deixar as formações expostas abaixo da profundidade do revestimento, que não podem ser perfuradas com segurança por causa das condições da formação, tais como a inversão da pressão de poro descrita acima, ou grandes aumentos no gradiente de pressão de poro. Em tais circunstâncias, pode ser necessário colocar revestimentos adicionais coaxialmente dentro dos tubos de revestimento existentes. Tais tubos de revestimento coaxiais adicionais podem substancialmente reduzir o possível diâmetro do furo de poço e a capacidade produtiva final do furo de poço. A outra ocorrência que pode ser evitada é perda do furo de poço por razão de explosão subterrânea ou falha de fratura da formação sendo perfurada. O método acima descrito pode auxiliar o operador de furo de poço em minimizar a possibilidade das duas ocorrências precedentes, determinando

uma melhor possível profundidade de revestimento.

Com referência à Fig. 4, um fluxograma do procedimento precedente inclui o seguinte. Em 40, operações de perfuração estão em andamento e o furo de poço está sendo perfurado para a frente. Em 42, o sistema DAPC (Fig. 1) pode ser operado para fazer com que a pressão na coroa anular (115 na Fig. 1) aumente em um valor selecionado. Em 44, o fluxo de entrada é comparado com o fluxo de saída. Se o fluxo de saída for substancialmente o mesmo que o fluxo de entrada, o sistema DAPC é operado de modo que a pressão da coroa anular é novamente aumentada. O precedente é repetido, até em 46 haver indicação de que o fluxo de saída é menor do que o fluxo de entrada. A pressão da coroa anular próximo do fundo do poço naquela ocasião será usada para estabelecer, também em 46, uma pressão de fluido máxima segura no fundo do furo de poço (“pressão de fundo de furo” ou “BHP”).

Contrariamente, e em 48 na Fig. 4, o sistema DAPC pode ser operado para reduzir a pressão em decrementos selecionados. Em 50, as medições do fluxo de entrada e fluxo de saída são comparadas. Também em 50, se o fluxo de entrada e o fluxo de saída forem substancialmente os mesmos, o sistema DAPC pode ser operado para diminuir mais o BHP. O precedente continua, até em 50 o fluxo de saída parecer exceder o fluxo de entrada. Em 52, em tal caso, a BHP determinada naquela ocasião pode ser usada para estabelecer um limite de pressão inferior seguro.

Outro aspecto da invenção será agora explicado com referência à Fig. 3. A Fig. 3 inclui curvas de pressão de poro e curvas de pressão de fratura, 10 e 11, respectivamente, que são substancialmente iguais àquelas descritas acima com referência à Fig. 2. Os limites de pressão mostrados pelas curvas 11 e 13 são também substancialmente os mesmos que na Fig. 2. Pressões máximas e mínimas que podem ser seguramente sustentadas no furo de poço, nas curvas 14 e 15, serão mais explicadas abaixo.

No presente exemplo, os valores ótimos para certos parâmetros operacionais de perfuração (definidos acima) podem ser determinados durante a perfuração. Com referência ao fluxograma da Fig. 5, em 60, as operações de perfuração de furo de poço estão em andamento e a perfuração continua para a frente. A 62, o sistema DAPC é operado para incrementar a pressão. Em 64, certos parâmetros operacionais de perfuração, tais como a “carga-de-gancho” (o peso da coluna de perfuração suspensa pelo aparelho de perfuração), o valor do torque aplicado à coluna de perfuração e a vazão são medidos. Um parâmetro de resposta de perfuração, tal como a taxa em que o furo de poço é prolongado (“taxa de penetração” ou “ROP”) pode também ser medida. O incremento e medição precedentes de alguns exemplos podem ser repetidos até uma indicação de pressão de fratura ser obtida (como explicado acima com referência às Figs. 2 e 4). Em 66, o sistema DAPC pode ser operado para diminuir a pressão. Em 68, os parâmetros operacionais de perfuração, tais como torque, carga-de-gancho, fluxo de entrada e parâmetros de resposta, tais como ROP, podem ser medidos. Tais decremento e medição em alguns podem ser repetidos até uma indicação de pressão de poro ser obtida (como explicado com referência às Figs. 2 e 4).

Em 70, o fluxo de entrada pode ser ajustado, p. ex., reduzindo-se a taxa em que a lama é bombeada para dentro da coluna de perfuração. Aqueles hábeis na técnica observarão que o fluxo de entrada ordinariamente deve ser mantido em pelo menos uma quantidade necessária para levantar as aparas de perfuração do fundo do furo de poço (o limite inferior de “limpeza de furo”). O sistema DAPC deve ser operado pra manter a BHP substancialmente constante, enquanto a vazão está sendo ajustada. Em 72, a carga de gancho, torque e ROP podem ser medidos. O precedente pode ser repetido para uma faixa de fluxo.

As medições precedentes, feitas em valores selecionados de BHP e fluxo de entrada, podem ser analisadas para prover valores ótimos de

certos parâmetros operacionais de perfuração, tais como o fluxo de entrada e a BHP, de modo que os parâmetros de resposta de perfuração, p. ex., ROP, sejam minimizados. A análise precedente pode também prover o valor de fluxo de entrada mínimo (e conseqüente cavalo-vapor hidráulico suprido para a broca) que é consistente com as operações de perfuração seguras. As medições precedentes, isto é, incremento e decremento da BHP, se estendida aos limites de pressão como explicado acima, podem possibilitar a determinação dos limites de pressão mecânica máximo e mínimo do furo de poço, p. ex., ao longo das curvas 14 e 15 na Fig. 5. No sentido mais geral, os vários exemplos da invenção incluem ajustar a BHP e determinar a resposta do furo de poço a tal ajustamento. “Resposta do furo de poço” é usada como um termo geral para significar determinação tanto da pressão de poro de formação como da pressão de fratura e resposta de perfuração (p. ex., mudanças em ROP com outros parâmetros operacionais de perfuração mantidos constantes).

O uso de métodos de acordo com vários aspectos da invenção pode prover melhor determinação da profundidade do revestimento do furo de poço e perfuração mais eficiente.

Embora a invenção tenha sido descrita com respeito a um número limitado de formas de realização, aqueles hábeis na arte, tendo o benefício desta descrição, observarão que outras formas de realização podem ser imaginadas que não se desviam do escopo da invenção como aqui descrita. Por conseguinte, o escopo da invenção deve ser limitado somente pelas reivindicações anexas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar integridade da formação durante a perfuração de um furo de poço (106), compreendendo:

5 determinar uma pressão de fluido de coroa anular em um furo de poço (106) durante perfuração do mesmo; e

ajustar a pressão da coroa anular em um valor predeterminado;

comparar a vazão do fluido de perfuração (150) para dentro do furo de poço (106) com a vazão de fluido de perfuração para fora do furo de poço (106);

10 repetir o ajuste e a comparação; e

determinar pelo menos uma de uma pressão de poro de formação e uma pressão de fratura de formação da pressão da coroa anular, quando as vazões comparadas diferem em um valor selecionado;

15 **caracterizado** pelo fato de que o método é para determinar integridade da formação durante perfuração ativa do furo de poço (106), enquanto o referido furo de poço está sendo perfurado para a frente.

20 2. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de o ajuste compreender incrementar a pressão da coroa anular e a pressão da formação ser determinada quando a vazão para dentro do furo de poço (106) exceder a vazão para fora do furo de poço (106).

3. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de o ajuste compreender diminuir a pressão da coroa anular e a pressão de poro da formação ser determinada quando a vazão para fora do furo de poço (106) exceder a vazão para dentro do furo de poço (106).

25 4. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de compreender adicionalmente a utilização da pressão de fratura ou a pressão de poro determinadas, para estimar uma profundidade de furo de poço em que um revestimento (101) é para ser colocado.

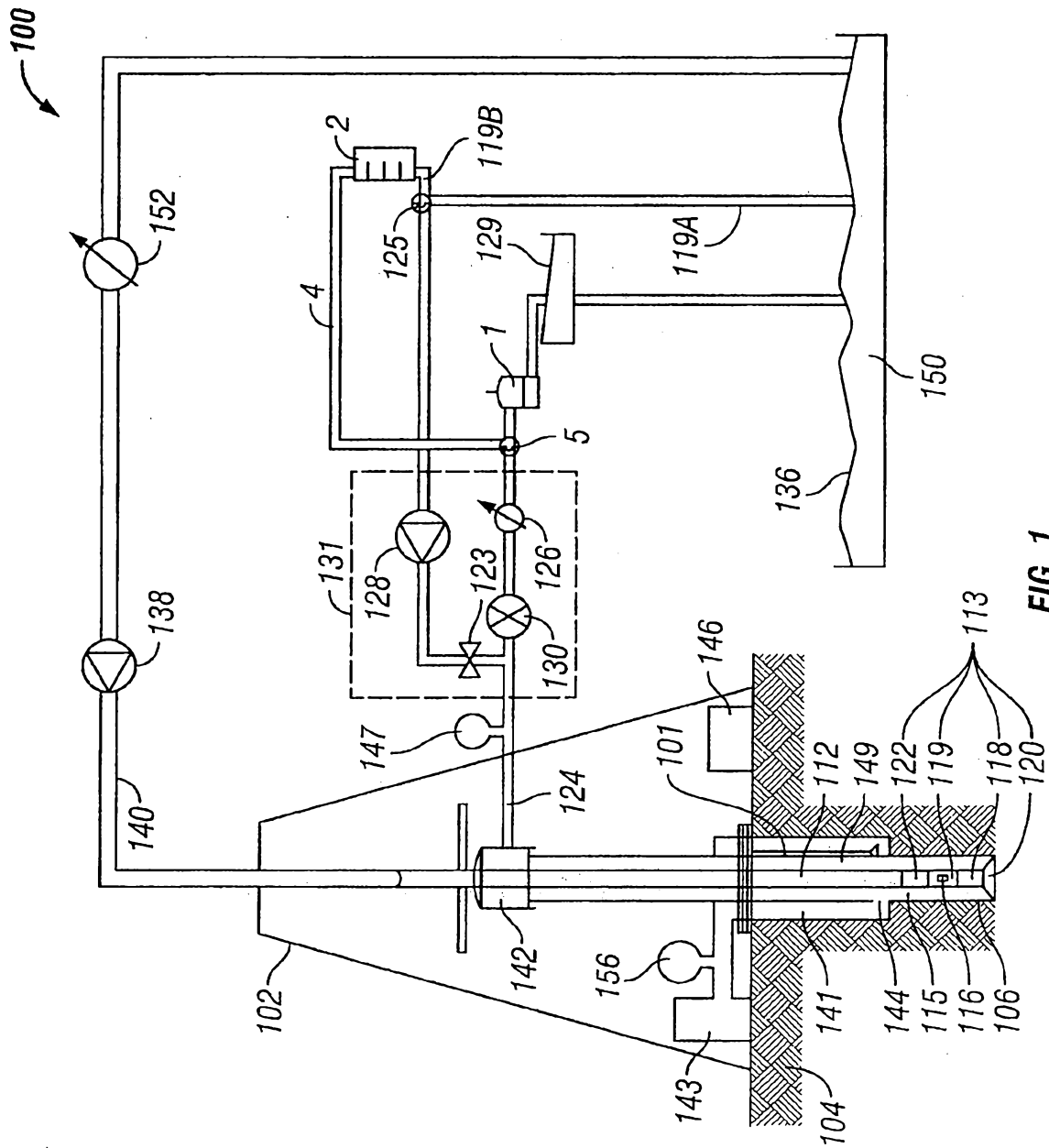


FIG. 1

PP Pressão /Janela FG

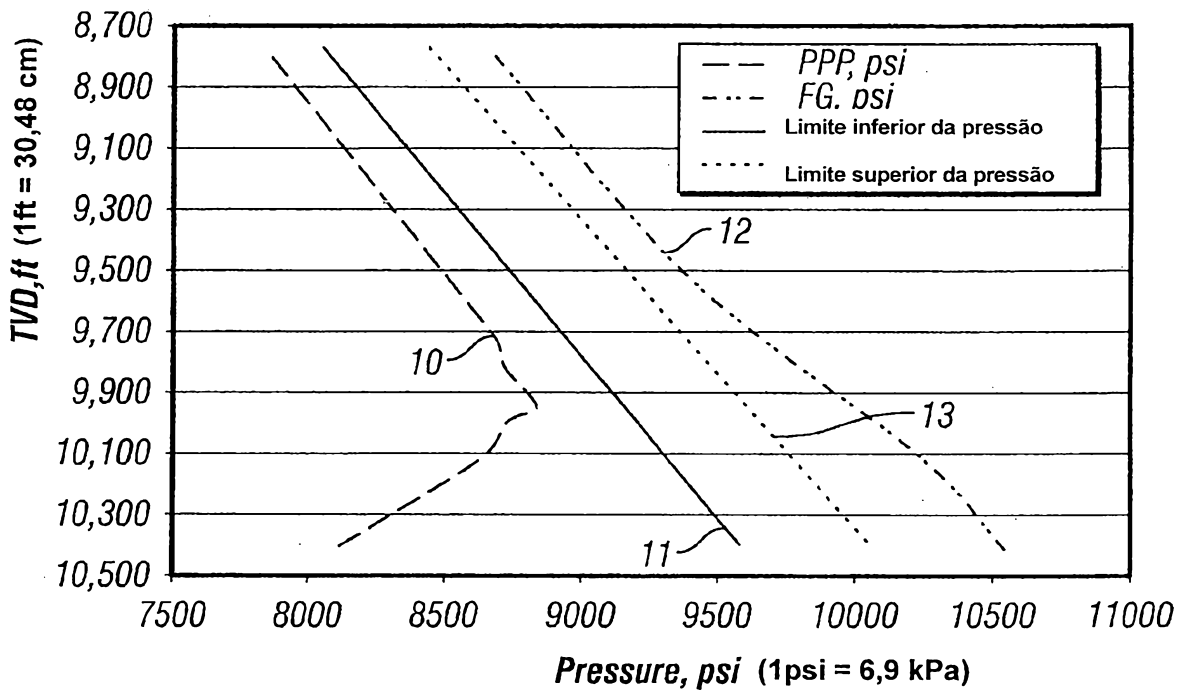


FIG. 2

PP mecânico/Janela FG

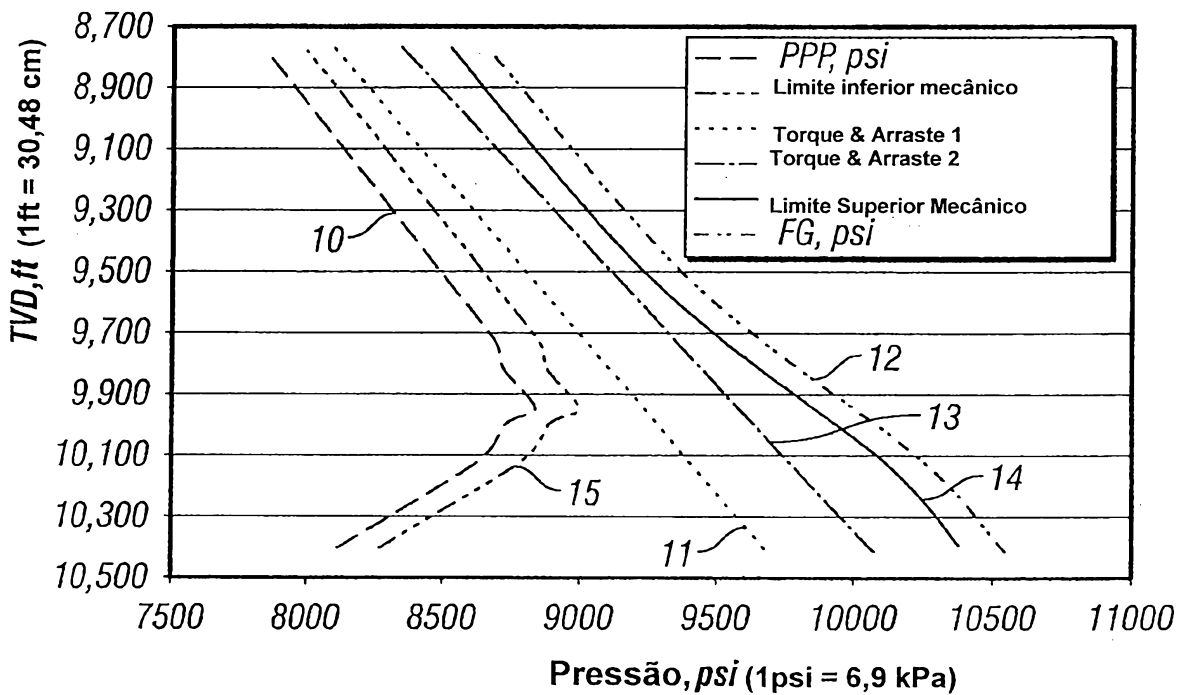


FIG. 3

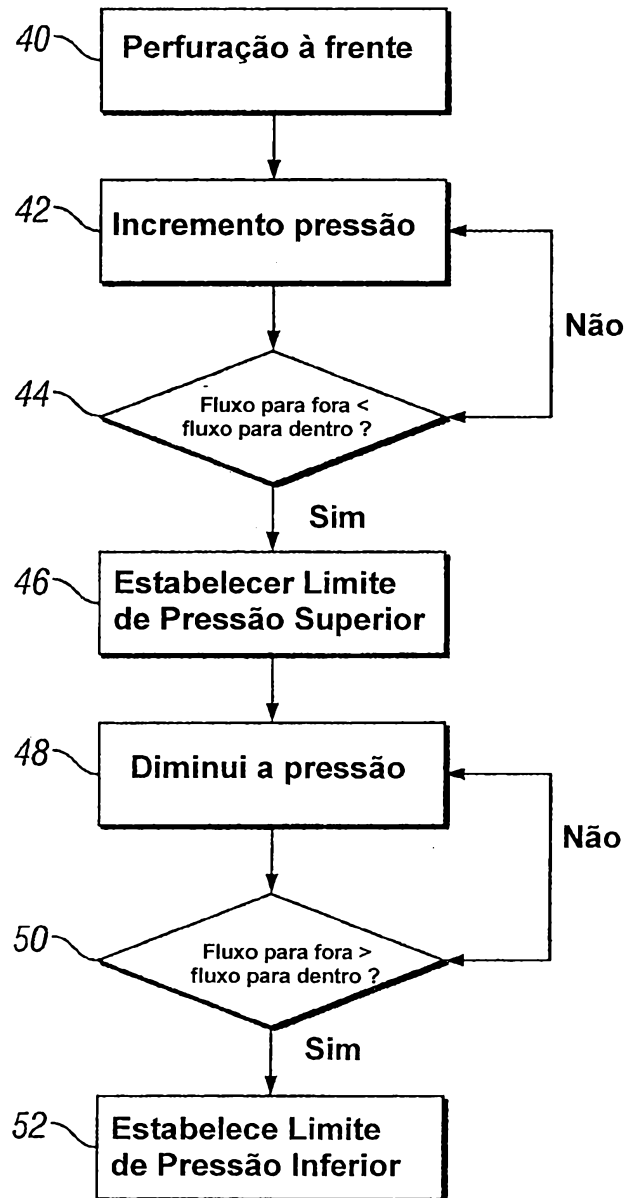


FIG. 4

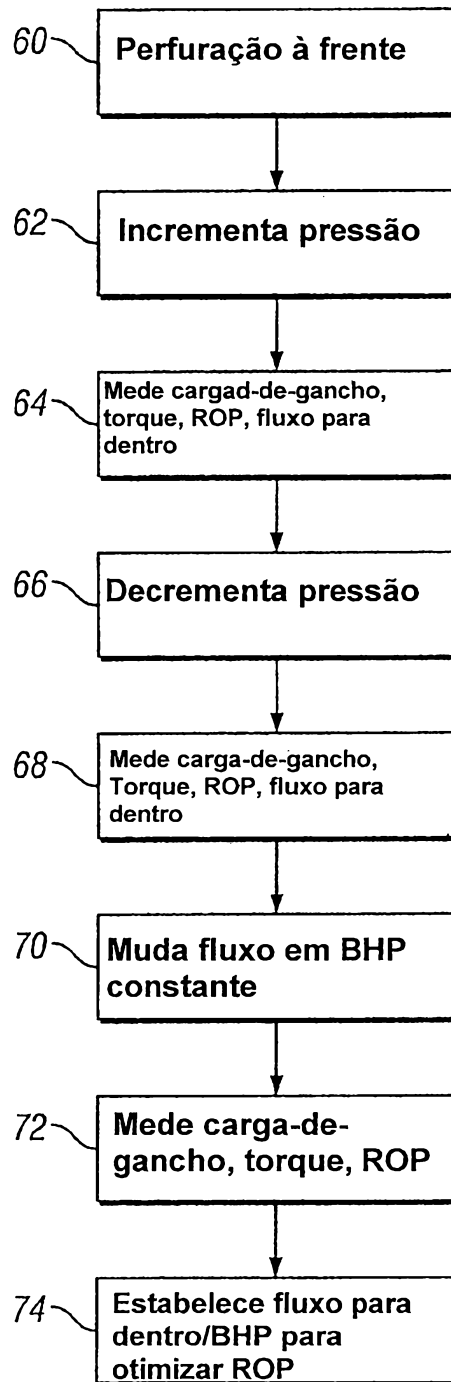


FIG. 5