



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0706315-6 B1

(22) Data do Depósito: 04/01/2007

(45) Data de Concessão: 06/02/2018



(54) Título: "MÉTODO PARA DETERMINAR A EXISTÊNCIA DE UM EVENTO DE CONTROLE DE POÇO"

(51) Int.Cl.: E21B 47/00

(30) Prioridade Unionista: 05/01/2006 US 60/756,311

(73) Titular(es): PRAD RESEARCH AND DEVELOPMENT LIMITED

(72) Inventor(es): DONALD G. REITSMA

“MÉTODO PARA DETERMINAR A EXISTÊNCIA DE UM EVENTO DE CONTROLE DE POÇO”

Fundamento da invenção

Campo da Invenção

5 A invenção refere-se em geral ao campo de perfurações de poço usando dispositivos de controle de pressão anular dinâmica. Mais especificamente, a invenção refere-se a método para determinar eventos de controle de fluido do furo de sondagem, tais como, perda de fluido de perfuração ou entrada de fluido de formação em um furo de sondagem quando
10 estes dispositivos são usados.

Fundamento da Técnica

A pesquisa e a produção de hidrocarbonetos de formações subterrâneas terrestres necessitam, em última análise, de um método para alcançar e extrair os hidrocarbonetos das formações. O alcance e a extração
15 são executados, tipicamente, perfurando-se um furo de sondagem a partir da superfície do terreno até as formações portadoras de hidrocarboneto, usando-se um equipamento de perfuração. Em sua forma mais simples, um equipamento de perfuração terrestre é usado para sustentar uma broca de perfuração montada na extremidade de uma coluna de perfuração. A coluna
20 de perfuração é formada tipicamente por extensões da tubulação de perfuração ou por segmentos tubulares similares conectados ponta a ponta. A coluna de perfuração é sustentada pela estrutura do equipamento de perfuração na superfície. Um fluido de perfuração, feito de um fluido básico, tipicamente, água ou óleo e vários aditivos, é bombeado para baixo por uma
25 abertura central na coluna de perfuração. O fluido sai da coluna de perfuração por aberturas chamadas de “jatos” no corpo da broca de perfuração rotativa. Em seguida, o fluido de perfuração circula de volta para cima por um espaço anular formado entre a parede do furo de sondagem e a coluna de perfuração, carregando os detritos de corte da broca de perfuração para limpar o furo de

sondagem. O fluido de perfuração é igualmente formulado de modo que a pressão hidrostática aplicada pelo fluido de perfuração seja maior do que a pressão do fluido da formação circunvizinha, impedindo desse modo que os fluidos da formação entrem no furo de sondagem.

5 O fato da pressão hidrostática do fluido de perfuração exceder, tipicamente, a pressão do fluido da formação resulta, igualmente, no fluido entrar nos poros da formação, ou “invadir” a formação. Para reduzir a quantidade de fluido de perfuração perdido com esta invasão, alguns dos aditivos no fluido de perfuração aderem à parede do furo de sondagem nas
10 formações permeáveis, formando, assim, um “bolo de lama” relativamente impermeável nas paredes da formação. Este bolo de lama impede substancialmente a invasão continuada, o que ajuda a preservar e proteger a formação antes da descida da tubulação protetora ou revestimento no furo de sondagem como parte do processo de perfuração, como será explicado mais
15 abaixo. A formulação do fluido de perfuração para exercer pressão hidrostática acima da pressão da formação é referida geralmente como “perfuração sobrebalanceada”.

O fluido de perfuração retorna finalmente à superfície, onde é transferido para um sistema de tratamento de lama que geralmente inclui
20 componentes tais como uma mesa vibratória para remover os sólidos do fluido de perfuração, um desgaseificador para remover os gases dissolvidos do fluido de perfuração, um tanque de armazenamento ou “poço de lama” e um meio manual ou automático para a adição de vários produtos químicos ou aditivos ao fluido tratado pelos componentes antecedentes. O fluxo do fluido
25 de perfuração limpo, tratado, é tipicamente medido para determinar as perdas de fluidos para a formação em consequência da invasão do fluido previamente descrita. Os sólidos e fluido retornados (antes do tratamento) podem ser estudados para determinar várias características da formação terrestre usadas em operações de perfuração. Uma vez que o fluido tenha sido tratado no poço

de lama, ele é, então, bombeado para fora do poço de lama e é bombeado, outra vez, para dentro do topo da coluna de perfuração.

A técnica da perfuração sobrebalanceada descrita acima é o método de controle da pressão do fluido da formação de uso mais geral. A perfuração sobrebalanceada baseia-se, primariamente, na pressão hidrostática gerada pelo fluido da coluna de perfuração no espaço anular ("segmento anular") para conter a entrada de fluidos da formação para dentro do furo de sondagem. Exceder a pressão do poro da formação a pressão do fluido do segmento anular pode impedir influxo súbito do fluido da formação para dentro do furo de sondagem, tal como, coices de gás. Quando estes coices de gás ocorrem, a densidade do fluido de perfuração pode ser aumentada para impedir mais influxo do fluido da formação para dentro do furo de sondagem. Entretanto, a adição de aditivos que aumentam a densidade ("adensamento") do fluido de perfuração: (a) pode não ser rápida o bastante para lidar com o influxo do fluido da formação; e (b) pode fazer com que a pressão hidrostática no segmento anular exceda a pressão da fratura da formação, resultando na criação de fissuras ou fraturas na formação. A criação de fraturas ou fissuras na formação resulta, tipicamente, em perda de fluido de perfuração para a formação, afetando, possivelmente de maneira adversa, a permeabilidade das formações portadoras de hidrocarboneto próximas ao furo de sondagem. No caso dos coices de gás, o operador do furo de sondagem pode optar por fechar dispositivos anulares de vedação chamados "válvulas de segurança" (BOPs) localizadas abaixo do assoalho do equipamento de perfuração para controlar a movimentação do gás, para cima, pelo segmento anular. Controlando-se o influxo de um coice de gás, depois das BOPs ser fechadas, o gás é sangrado a partir do segmento anular e a densidade do fluido de perfuração é aumentada antes de recomeçar as operações perfuração.

O uso da perfuração sobrebalanceada afeta igualmente as profundidades em que o revestimento deve ser ajustado durante as operações

de perfuração. O processo de perfuração começa com "uma tubulação condutora" sendo introduzida no solo. Uma pilha de BOPs é conectada tipicamente no topo da tubulação condutora, e o equipamento de perfuração posicionado acima da pilha de BOPs. Uma coluna de perfuração com uma broca de perfuração pode ser girada seletivamente girando-se a coluna inteira usando-se uma haste quadrada de equipamento de perfuração ou um acionamento de topo, ou a broca de perfuração pode ser girada independente da coluna de perfuração usando-se um motor acionado pelo fluido de perfuração instalado na coluna de perfuração acima da broca de perfuração.

5

10 Como notado acima, um operador pode perfurar através de formações da Terra ("furo aberto") até a hora em que a pressão do fluido de perfuração na profundidade da perfuração se aproxima da pressão da fratura da formação. Nesta hora, é prática comum intercalar e suspender uma coluna de revestimento no furo de sondagem a partir da superfície para baixo até a mais

15 baixa profundidade perfurada. Uma sapata de cimentação é colocada na coluna de perfuração, e cimento especial é injetado através da coluna de perfuração e para fora da sapata de cimentação, subindo pelo segmento anular e deslocando qualquer fluido então no segmento anular. O cimento entre a parede da formação e a parte externa do revestimento suporta e isola

20 efetivamente a formação do segmento anular do furo de sondagem. Além disto, a perfuração de furo aberto pode ser realizada abaixo da coluna de revestimento, com o fluido de perfuração provendo, novamente, controle da pressão e proteção da formação no furo aberto perfurado abaixo da parte inferior do revestimento. O revestimento protege as formações mais rasas do

25 fraturamento induzido pela pressão hidrostática do fluido de perfuração quando a densidade do fluido precisar ser aumentada a fim de controlar as pressões dos fluidos da formação em formações mais profundas.

A FIG. 1 é um diagrama exemplificativo do uso da densidade do fluido de perfuração para controlar pressões da formação durante o

processo de perfuração em uma seção intermediária do furo de sondagem. A barra horizontal superior representa a pressão hidrostática exercida pelo fluido de perfuração e a barra vertical representa a profundidade vertical total do furo de sondagem. O gráfico da pressão do fluido da formação (poro) está representado pela linha 10. Como notado acima, na perfuração sobrebalanceada, a densidade do fluido de perfuração é selecionada de modo que sua pressão exceda a pressão do poro da formação por alguma quantidade em razão do controle da pressão e da estabilidade do furo de sondagem. A linha 12 representa a pressão da fratura da formação. Pressões de fluidos do furo de sondagem acima da pressão da fratura da formação podem resultar no fluido de perfuração pressurizando as paredes da formação até o ponto em que pequenas rachaduras ou fraturas se abrirão na parede do furo de sondagem. Mais, a pressão do fluido de perfuração supera a pressão da formação e provoca invasão de fluido significativa. A invasão de fluido pode resultar em, entre outros problemas, permeabilidade reduzida, afetando adversamente a produção da formação. A pressão gerada pelo fluido de perfuração e seus aditivos está representada pela linha 14 e é geralmente uma função linear da profundidade vertical total. A pressão hidrostática que seria gerada pelo fluido sem quaisquer aditivos, isto é, água pura, está representada pela linha 16.

Em um sistema de fluido de perfuração de "circuito aberto" descrito acima, onde o fluido de retorno do furo de sondagem é exposto somente à pressão atmosférica, a pressão anular no furo de sondagem é essencialmente uma função linear da densidade do fluido do furo de sondagem em relação à profundidade no furo de sondagem. No sentido mais estrito isto é verdadeiro apenas quando o fluido de perfuração é estático. Na verdade, a densidade efetiva do fluido de perfuração pode ser modificada durante as operações de perfuração devido ao atrito no fluido de perfuração movente, entretanto, a pressão anular resultante está, em geral, relacionada linearmente à profundidade vertical.

No exemplo da FIG. 1, a pressão hidrostática 16 do fluido de perfuração e a pressão do poro 10 geralmente seguem, uma a outra, na seção intermediária do furo de sondagem a uma profundidade de aproximadamente 2133,6m. Depois disso, a pressão do poro 10 (pressão dos fluidos nos espaços dos poros das formações da Terra) aumenta em uma taxa acima daquela
5 equivalente a uma coluna de água no intervalo de uma profundidade de 2133,6m a aproximadamente 2834,64m. Estas pressões da formação anormais podem ocorrer quando um furo de sondagem penetra um intervalo da formação que tem características significativamente diferentes das da
10 formação prévia. A pressão hidrostática 14 mantida pelo fluido de perfuração está com segurança acima da pressão do poro antes de aproximadamente 2133,6m. No intervalo de 2133,6-2834,64m, o diferencial entre a pressão do poro 10 e a pressão hidrostática 14 é reduzido significativamente, diminuindo a margem de segurança durante as operações de perfuração. Um coice de gás
15 dentro deste intervalo pode resultar na pressão do poro exceder a pressão hidrostática, com um influxo de fluido e o gás para dentro do furo de sondagem possivelmente exigindo a ativação das BOPs. Como notado acima, embora material de adensamento adicional possa ser adicionado ao fluido de perfuração para aumentar sua pressão hidrostática, isto será, geralmente,
20 ineficaz para lidar com um coice de gás devido ao tempo exigido para aumentar a densidade do fluido na profundidade do coice no furo de sondagem. Este tempo resulta do fato de que o fluido de perfuração deve ser movido através de milhares de metros da tubulação de perfuração para alcançar mesmo a profundidade de broca, sem mencionarmos o início do
25 carregamento do segmento anular para aumentar a pressão hidrostática no segmento anular.

Um sistema de fluido de perfuração de circuito aberto está sujeito a vários outros problemas. Será apreciado que é necessário desligar as bombas de lama a fim montar segmentos sucessivos da tubulação de

perfuração ("junções") à coluna de perfuração para aumentar seu comprimento (chamado: "fazer uma conexão"), para permitir a perfuração de formações sucessivamente mais profundas da Terra. Quando as bombas são desligadas, a pressão anular suportará um pico negativo que se dissipa enquanto a pressão anular estabiliza. Similarmente, quando as bombas são religadas após ter sido feita uma conexão, a pressão anular suportará um pico positivo. Estes picos ocorrem a cada vez que uma junção de tubulação é adicionada a ou removida da coluna. Será apreciado que estes picos de pressão podem causar fadiga no bolo de lama e na parede do furo de sondagem, e poderiam resultar na entrada de fluidos da formação no furo de sondagem ou fraturamento da formação levando, outra vez, a um evento de controle de poço.

Para superar as limitações antecedentes da perfuração usando-se um sistema de circulação de fluido de circuito aberto, foram desenvolvidos numerosos sistemas de perfuração chamados "sistemas de controle de pressão anular dinâmica" (DAPC). Um destes sistemas está apresentado, por exemplo, na patente U.S. 6.904.981 disponibilizada para van Riet e atribuída à Shell Oil Company. O sistema de DAPC, apresentado na patente `981, inclui um sistema de contrapressão do fluido, onde a descarga do fluido do furo de sondagem é controlada seletivamente 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 do segmento anular durante os momentos em que as bombas de lama são desligadas. Além disto, é provido um sistema de monitoração da pressão para monitorar pressões detectadas do furo de sondagem, modelar pressões previstas do furo de sondagem para perfuração adicional e para controlar o sistema de contrapressão do fluido.

Como pode ser pressuposto da discussão acima sobre eventos de influxo de fluido e perda de fluido, é importante que a detecção destes

eventos, e as ações corretivas consequentes ocorram o mais cedo possível após o início de um destes eventos de modo que as ações corretivas sejam o mais possivelmente eficazes. Este é particularmente o caso com coices de gás, porque uma vez que um coice de gás flui para cima pelo segmento anular, a
5 pressão hidrostática devido ao gás de penetração, é reduzida imediatamente após o aumento no volume de gás, deslocando, assim, volumes sucessivamente maiores do fluido de perfuração no segmento anular. O deslocamento do fluido de perfuração resulta em mais redução da pressão hidrostática no segmento anular, exacerbando a expansão do gás em um ciclo
10 perigoso. Consequentemente, muito trabalho foi devotado à detecção adiantada, precisa de eventos de controle do poço. Muitas das técnicas conhecidas na técnica para a detecção de eventos de controle de poço usando-se sistemas fluidos de circulação do circuito aberto são descritas, por exemplo, na patente U.S. 6.820.702 disponibilizada para Niedermayr e outros.
15 Geralmente, técnicas conhecidas na técnica para detectar os eventos de controle de poço usadas com sistemas de circulação de fluido de circuito aberto usam diferenças entre o volume do fluxo de fluido no furo de sondagem e o fluxo do fluido fora do furo de sondagem para inferir a presença deste evento.

20 O que é necessário é um método para determinar a existência de um evento de controle de poço a ser usado com sistemas de circulação de fluidos de circuito fechado tais como sistemas de DAPC.

Será igualmente apreciado que um modo de realização, pelo menos, de um sistema de DAPC mostrado na patente '981 de van Riet exige
25 uma bomba de contrapressão para os momentos em que as bombas de Lama do Equipamento são desligadas a fim manter a pressão do fluido do segmento anular. É desejável ter um sistema de DAPC que não se baseie no uso de uma bomba de contrapressão separada para manter a pressão do segmento anular sob todas as circunstâncias de funcionamento.

Sumário da Invenção

Um aspecto da invenção é um método para determinar a existência de um evento de controle de poço controlando-se a pressão da formação durante a perfuração de um furo de sondagem através de uma formação subterrânea. Um método de acordo com este aspecto da invenção inclui o bombeamento de um fluido de perfuração através de uma coluna de perfuração descida em um furo de sondagem, para fora de uma broca de perfuração na extremidade inferior da coluna de perfuração, e para dentro do espaço anular entre a coluna de perfuração e o furo de sondagem. O fluido de perfuração é descarregado a partir do espaço anular próximo à superfície do terreno. A pressão do fluido do espaço anular é aumentada seletivamente para manter uma pressão de fluido selecionada próximo ao fundo do furo de sondagem aplicando-se pressão de fluido ao espaço anular. O aumento seletivo inclui controlar uma abertura ou um orifício acoplado operacionalmente entre o espaço anular e uma linha de descarga. A abertura selecionada do orifício é monitorada. A existência de um evento de controle de poço é determinada quando a abertura muda e a taxa de bombeamento permanecem substancialmente constantes.

Um método para controlar a pressão da formação durante a perfuração de um furo de sondagem de acordo com outro aspecto da invenção inclui bombear um fluido de perfuração através de uma coluna de perfuração descida em um furo de sondagem, para fora de uma broca de perfuração na extremidade inferior da coluna de perfuração, e para dentro de um espaço anular entre a coluna de perfuração e o furo de sondagem. O fluido de perfuração é descarregado a partir do espaço anular próximo à superfície da Terra. Pelo menos uma de uma vazão do fluido de perfuração no furo de sondagem e uma vazão do fluido fora do espaço anular é medida. Uma pressão do fluido no espaço anular próximo à superfície da Terra e uma pressão do fluido próximo ao fundo do furo de sondagem são medidas. Uma

pressão do fluido próximo ao fundo do furo de sondagem é estimada usando-se a vazão medida, a pressão medida do espaço anular e a densidade do fluido de perfuração. Um sinal de advertência é gerado se uma diferença entre a pressão estimada e a pressão medida exceder um limiar selecionado.

5 Outros aspectos e vantagens da invenção serão aparentes da descrição seguinte e das reivindicações anexas.

Descrição Resumida dos Desenhos

FIG. 1 é um gráfico mostrando pressões anulares e pressões do poro e da fratura da formação.

10 FIGS. 2A e 2B são vistas no plano de dois modos de realização diferentes do aparelho que pode ser usado com um método de acordo com a invenção.

FIG. 3 é um diagrama de bloco do sistema de monitoração e controle da pressão usado no modo de realização mostrado na FIG. 2.

15 FIG. 4 é um diagrama funcional do funcionamento do sistema de monitoração e controle da pressão.

FIG. 5 é um gráfico mostrando a correlação de pressões anulares prognosticadas com pressões anulares medidas.

20 FIG. 6 é um gráfico mostrando a correlação de pressões anulares prognosticadas com pressões anulares medidas mostradas na FIG. 5, após modificação de determinados parâmetros do modelo.

FIG. 7 é um gráfico mostrando como o sistema de DAPC pode ser usado para controlar variações na pressão do poro da formação em uma condição sobrebalanceada;

25 FIG. 8 é um gráfico mostrando a operação de DAPC quando aplicada em uma operação balanceada.

FIGS. 9A e 9B são gráficos mostrando como o sistema de DAPC pode ser usado para neutralizar as quedas e picos da pressão anular que acompanham as condições de bomba ligada/desligada.

FIG. 10 mostra outro modo de realização de um sistema de DAPC que usa apenas bombas de Lama do Equipamento para prover a pressão de fluido selecionada a ambos, coluna de perfuração e segmento anular.

5

Descrição Detalhada

1. Sistema de Circulação da Perfuração e Primeiro Modo de Realização de um Sistema de Controle de Contrapressão.

A FIG. 2A é uma vista no plano mostrando um sistema de perfuração terrestre tendo um modo de realização de um sistema de controle anular de pressão dinâmica (DAPC) que pode ser usado com a invenção. Será apreciado que um sistema de perfuração fora da costa pode, do mesmo, modo ter um sistema de DAPC usando métodos de acordo com a invenção. O sistema de perfuração 100 está mostrado incluindo um equipamento de perfuração 102 que é usada para suportar operações de perfuração. Muitos dos componentes usados no equipamento de perfuração 102, tais como haste quadrada, alicates hidráulicos, cunhas, guinchos de perfuração e outro equipamento não estão mostrados separadamente nas figuras para maior clareza da ilustração. O equipamento 102 é usado para sustentar uma coluna de perfuração 112 usada para perfurar um furo de sondagem através de formações da Terra tal como mostrado como formação 104. Como mostrado na FIG. 2A o furo de sondagem 106 já foi parcialmente perfurado, e uma tubulação de proteção ou revestimento 108 colocada e cimentada 109 no lugar, em parte da porção perfurada do furo de sondagem 106. No presente modo de realização, um mecanismo de vedação do revestimento, ou válvula de emprego no interior do poço, 110 é instalado no revestimento 108 para vedar opcionalmente o segmento anular e para atuar efetivamente como uma válvula para fechar a seção aberta do furo do furo de sondagem 106 (a porção do furo de sondagem 106 abaixo da parte inferior do revestimento 108) quando uma broca de perfuração 120 estiver localizada acima da válvula 110.

A coluna de perfuração 112 sustenta um conjunto de fundo do poço 113 (BHA) que pode incluir a broca de perfuração 120, um motor de lama 118, um conjunto de sensores 119 de registro e medição enquanto perfurando (MWD/LWD) que inclui preferivelmente um transdutor de pressão 116 para determinar a pressão anular no furo de sondagem 106. A
5 coluna de perfuração 112 inclui uma válvula de controle para impedir o refluxo do fluido do segmento anular para o interior da coluna de perfuração 112. O conjunto 119 de MWD/LWD inclui preferivelmente um pacote de telemetria 122 que é usado para transmitir dados da pressão, dados do sensor
10 de MWD/LWD, bem como, informação da perfuração para serem recebidos na superfície da Terra. Embora a FIG. 2A ilustre um BHA utilizando um sistema de telemetria de modulação da pressão da lama, será apreciado que outros sistemas de telemetria, tais como radiofrequência. (RF), eletromagnético (EM) ou sistemas de transmissão de coluna de perfuração
15 podem ser usados com a presente invenção.

Como notado na seção Fundamento, acima, o processo de perfuração exige o uso de um fluido de perfuração 150, que é armazenado tipicamente em um reservatório 136. O reservatório 136 está em comunicações fluídicas com uma ou mais bombas de lama 138 do
20 equipamento de perfuração que bombeiam o fluido de perfuração 150 através de um duto 140. O duto 140 é conectado ao segmento ou "junção" mais alto da coluna de perfuração 112 que passa através de um cabeçote de controle de rotação ou "BOP rotativa" 142. Uma BOP rotativa 142, quando ativada, força elementos de vedação elastoméricos moldados esfericamente a girar
25 ascendentemente, fechando-se em torno da coluna de perfuração 112 e isolando a pressão do fluido no segmento anular, além disto, permitindo a rotação da coluna de perfuração. BOPs rotativas disponíveis no comércio, como as fabricadas pela National Oilwell Varco, Avenida Richmond 10000, Houston, Texas 77042 são capazes de isolar pressões anulares de até 68947.6

kPa. O fluido 150 é bombeado para baixo através de uma passagem interior na coluna de perfuração 112 e do BHA 113 e sai através de bocais ou jatos na broca de perfuração 120, por meio do que o fluido 150 circula os detritos de perfuração para longe da broca 120 e retorna os detritos de corte para cima
5 através do espaço anular 115 entre a coluna de perfuração 112 e o furo de sondagem 106 e através do espaço anular formado entre o revestimento 108 e a coluna de perfuração 112. O fluido 150 retorna finalmente à superfície da Terra e atravessa um desviador 142, através do duto 124 e vários tanques de equilíbrio e sistemas do receptor da telemetria (não mostrados
10 separadamente).

Depois disso o fluido 150 prossegue para o que é aqui geralmente referido como um sistema de contrapressão 131. O fluido 150 entra no sistema de contrapressão 131 e flui através de um medidor de fluxo 126. O medidor de fluxo 126 pode ser do tipo equilíbrio de massa ou outro de
15 resolução suficientemente alta para medir a vazão do poço. Utilizando medidas do medidor de fluxo 152, um operador do sistema poderá determinar quanto fluido 150 foi bombeado para dentro do poço através da coluna de perfuração 112. O uso de um contador de pulso da bomba pode igualmente ser usado no lugar do medidor de fluxo 152. Tipicamente as quantidades do
20 fluido bombeadas e retornadas são essencialmente as mesmas em condições de estado estável quando compensadas para o volume adicional do furo de sondagem perfurado. Compensando por efeitos transientes e pelo volume adicional do furo de sondagem que está sendo perfurado e baseado em diferenças entre as quantidades de fluido 150 bombeado e de fluido 150
25 retornado, o operador do sistema está capacitado a determinar se o fluido 150 está sendo perdido na formação 104, o que pode indicar que fraturamento ou colapso da formação ocorreram, isto é, um diferencial negativo do fluido significativo. Do mesmo modo, um diferencial positivo significativo poderia ser um indicativo da entrada do fluido da formação dentro do furo de

sondagem 106 a partir das formações da Terra 104.

O fluido de retorno 150 prossegue até um estrangulador de orifício controlável, resistente ao desgaste, 130. Será apreciado que existem estranguladores projetados para operar em um ambiente onde o fluido de perfuração 150 contenha substanciais detritos de corte da perfuração e outros sólidos. O estrangulador 130 é preferivelmente deste tipo e, além disto, capaz de funcionar em pressões variáveis, aberturas ou orifícios variáveis, e através de ciclos de trabalho múltiplos. O fluido 150 sai pelo estrangulador 130 e flui através de um arranjo de válvula 5. O fluido 150 pode então ser processado, primeiro por um desgaseificador opcional 1 ou diretamente por uma série de filtros e mesa vibratória 129, projetada remover do fluido 150, contaminantes, incluindo detritos de corte da broca. O fluido 150 é então retornado ao reservatório 136. Um circuito de fluxo 119A é provido antes de um arranjo de válvula 125 para conduzir o fluido 150 diretamente para a entrada de uma bomba de contrapressão 128. Alternativamente, a entrada da bomba de contrapressão 128 pode ser provida com fluido do reservatório 136 através do duto 119B, que está em comunicação fluídica com o tanque de manobra. O tanque de manobra é usado normalmente em um equipamento de perfuração para monitorar ganhos e perdas do fluido de perfuração durante operações de manobra da tubulação (retirada e introdução da coluna de perfuração total, ou de subconjunto substancial dela do furo de sondagem). Na invenção, a funcionalidade do tanque de manobra é preferivelmente mantida. O arranjo de válvula 125 pode ser usado para selecionar o circuito 119A, duto 119B ou isolar o sistema de contrapressão. Embora a bomba de contrapressão 128 seja capaz de utilizar o fluido retornado para criar uma contrapressão pela seleção do circuito de fluxo 119A, será apreciado que o fluido retornado poderia ter contaminantes que não teriam sido removidos pelo filtro/mesa vibratória 129. Neste caso, o desgaste da bomba de contrapressão 128 pode ser aumentado. Consequentemente, o suprimento do fluido preferido para a bomba de

contrapressão 128 é o duto 119A para prover fluido reconicionado à entrada da bomba de contrapressão 128.

Em operação, o arranjo de válvula 125 deveria selecionar ou o duto 119A ou, o duto 119B, e a bomba de contrapressão 128 é acoplada para assegurar que fluxo suficiente passe através do lado a montante do estrangulador 130 para ser capaz de manter a contrapressão no segmento anular 115, mesmo quando não houver nenhum fluxo de fluido de perfuração vindo do segmento anular 115. No presente modo de realização, a bomba de contrapressão 128 é capaz de fornecer até aproximadamente 15168.5kPa de pressão; embora bombas com capacidade da pressão mais alta possam ser selecionadas a juízo do projetista do sistema. Pode-se apreciar que a bomba 128 poderia ser posicionada de qualquer maneira desde que esteja em comunicação fluídica com o segmento anular, o segmento anular sendo o duto de descarga do poço.

A capacidade de fornecer contrapressão é uma melhoria significativa sobre sistemas de controle de fluidos normais. A pressão no segmento anular fornecida pelo fluido é uma função de sua densidade e da profundidade vertical verdadeira e é geralmente por aproximação uma função linear. Como notado acima, os aditivos adicionados ao fluido no reservatório 136 devem ser bombeados para o furo abaixo para eventualmente mudar o gradiente da pressão aplicada pelo fluido 150.

O sistema pode incluir um medidor de fluxo 152 no duto 100 para medir a quantidade de fluido que está sendo bombeado no segmento anular 115. Será apreciado que pela monitoração dos medidores de fluxo 126, 152 e assim do volume bombeado pela bomba de contrapressão 128, é possível determinar a quantidade de fluido 150 que está sendo perdido para a formação, ou inversamente, a quantidade de fluido de formação que entra no furo de sondagem 106. Incluído adicionalmente no sistema está uma provisão para monitoração das condições da pressão do furo de sondagem e

prognóstico das características da pressão no furo de sondagem 106 e segmento anular 115.

A FIG. 2B mostra um modo de realização alternativo do sistema de DAPC. Neste modo de realização a bomba de contrapressão, não é
5 necessária para manter fluxo suficiente através do estrangulador quando o fluxo através do furo de sondagem precise ser vedado por qualquer razão. Neste modo de realização, um arranjo de válvula adicional 6 é colocado a jusante das bombas de lama 138 do equipamento de perfuração no duto 140. Este arranjo de válvula 6 permite que o fluido das bombas de lama 138 do
10 equipamento de perfuração seja desviado completamente do duto 140 para o duto 7, desviando assim o fluxo das bombas 138 do equipamento de perfuração que de outra maneira entrariam na passagem interior da coluna de perfuração 112. Mantendo a ação das bombas 138 do equipamento de perfuração e desviando a saída das bombas 138 para o segmento anular 115, é
15 assegurado fluxo suficiente através do estrangulador para controlar a contrapressão do segmento anular.

2. Sistema de Monitoração de DAPC

A FIG. 3 é um diagrama de bloco do sistema de monitoração da pressão 146 do sistema de DAPC. As entradas de dados do sistema para o
20 sistema de monitoração da pressão 146 podem opcionalmente incluir a pressão no furo abaixo 202 que foi medida pelo sensor apropriado no pacote de sensores 119 MW/LWD, transmitida à superfície da Terra pelo pacote de telemetria 122 MWD e recebida pelo equipamento transdutor (não mostrado) na superfície de Terra. Outras entradas de dados do sistema podem
25 opcionalmente incluir a pressão da bomba 200, o fluxo de entrada 204 do medidor de fluxo 152 ou o cálculo da vazão dentro do poço calculando-se o deslocamento da bomba e a velocidade em que a bomba está operando, velocidade de penetração da perfuração e velocidade de rotação da coluna de perfuração, bem como, opcionalmente, a força axial sobre a broca de

perfuração ("peso na broca" ou WOB) e, opcionalmente, o torque na broca de perfuração (TOB) que pode ser transmitido a partir de sensores apropriados (não mostrados separadamente) o BHA 113 dependendo da exatidão da medida da pressão exigida no fundo do poço. O fluxo de retorno da lama é medido usando-se o medidor de fluxo opcional 126 quando necessário. Sinais representativos das várias entradas de dados são transmitidos a partir de uma unidade de controle 230 que, ela própria, pode incluir uma unidade de controle 232 do equipamento de perfuração e uma estação do operador da perfuração 234, para um processador 236 de DAPC e para um controlador lógico programável da contrapressão (PLC) 238, todos eles podendo ser conectados por uma rede de dados comum 240. O processador 236 de DAPC serve para três funções, monitorar o estado da pressão do furo de sondagem durante operações de perfuração, prognosticar a resposta do furo de sondagem à perfuração continuada, e emitir comandos para o PLC da contrapressão para controlar a abertura do estrangulador 130 e para operar seletivamente a bomba de contrapressão 128. A lógica específica associada ao processador 236 do DAPC será discutida mais abaixo.

3. Cálculo da Contrapressão

Um modelo esquemático da funcionalidade do sistema de monitoração da pressão de DAPC, 146 está mostrado na FIG. 4. O processador 236 de DAPC inclui programação para realizar funções de "Controle" e funções de "Calibração do Modelo em Tempo Real". O processador 236 de DAPC recebe dados das várias fontes e calcula continuamente em tempo real o ponto de ajuste correto da contrapressão baseado nos valores dos parâmetros de entrada. O ponto de ajuste da contrapressão é transferido então ao controlador de lógica programável 238, qual gera sinais de controle para a bomba de contrapressão (128 na FIG 2A) e para o estrangulador (130 na FIG. 2A). Os parâmetros de entrada caem em três grupos principais. Os primeiros são parâmetros relativamente fixos 250,

incluindo parâmetros tais como a geometria do furo de sondagem e da coluna de revestimento, diâmetros dos bocais da broca de perfuração, e a trajetória do furo de sondagem. Embora seja reconhecido que a trajetória real do furo de sondagem pode variar da trajetória planejada, a variação pode ser levada em
5 consideração com uma correção da trajetória planejada. Igualmente dentro deste grupo de parâmetros estão o perfil da temperatura do fluido de perfuração no segmento anular (115 na Figura 2A) e a composição do fluido de perfuração. Como para os parâmetros da trajetória, estes são geralmente conhecidos e não mudam substancialmente sobre pequenas porções no curso
10 das operações de perfuração do furo de sondagem. Em particular, com o sistema de DAPC, um objetivo é poder manter a pressão no fundo de poço relativamente constante apesar das mudanças na vazão do fluido, usando o sistema de contrapressão para prover a pressão adicional para controlar a pressão do segmento anular próximo à superfície da Terra.

15 O segundo grupo de parâmetros 252 é variável por natureza e é sensoriado e registrado substancialmente em tempo real. A rede de dados 240, comum, provê estes dados ao processador de DAPC 236. Estes dados podem incluir dados da vazão providos ou por um, ou por ambos, entrada e retorno dos medidores de fluxo 152 e 126, respectivamente, a velocidade de
20 penetração da coluna de perfuração (ROP) ou velocidade axial, velocidade de rotação da coluna de perfuração, profundidade da broca de perfuração, e profundidade do furo de sondagem, os dois últimos sendo derivados de dados de sensores de equipamento de perfuração bastante conhecidos. O último parâmetro é a pressão no furo abaixo 254 que é provida pelo conjunto de
25 sensores do furo abaixo MWD/LWD 119 e que pode ser transmitida à superfície da Terra usando-se o pacote de telemetria 122 do pulso da lama. Outro parâmetro da entrada é o ponto de ajuste da pressão 256 no furo abaixo, ou densidade de circulação equivalente na broca de perfuração, próximo à broca de perfuração ou em algum ponto determinado no furo de furo.

Funcionalmente, o módulo de controle 258 tenta calcular a pressão no segmento anular (115 na figura 2A) em cada ponto sobre seu comprimento total do furo de sondagem, utilizando vários modelos projetados para vários parâmetros da formação e do fluido. A pressão no segmento anular é uma função não apenas da pressão hidrostática ou do peso da coluna do fluido no furo de sondagem, mas inclui as pressões causadas por operações do furo de sondagem, incluindo o deslocamento do fluido pela coluna de perfuração, pelas perdas por atrito devido ao fluxo do fluido que retorna para cima pelo segmento anular, e outros fatores. De modo a calcular a pressão dentro do poço, a programação no módulo de controle 258 considera o furo de sondagem como um número finito de segmentos, cada uma delas atribuída a um segmento do comprimento do furo de sondagem. Em cada um dos segmentos, a pressão dinâmica e o peso do fluido (pressão hidrostática) são calculados e usados para determinar o diferencial de pressão para o segmento. Os segmentos são então somados e o diferencial de pressão para o perfil de todo o furo de sondagem é determinado.

É sabido que a vazão do fluido 150 que está sendo bombeado para dentro do furo de sondagem está relacionada, de certa forma, à vazão do fluido 150 e a velocidade pode então ser usada para determinar a perda de pressão dinâmica quando o fluido 150 está sendo bombeado para dentro do furo de sondagem através da coluna de perfuração. A densidade do fluido 150 é calculada em cada segmento, levando-se em consideração a compressibilidade do fluido, a carga estimada dos detritos de corte da broca e a expansão termal do fluido 150 para o segmento específico, ela própria relacionada ao perfil de temperatura para esse segmento do furo de sondagem. A viscosidade do fluido na temperatura estimada para o segmento é igualmente importante para determinar perdas da pressão dinâmica para o segmento. A composição do fluido é igualmente considerada na determinação da compressibilidade e do coeficiente de expansão termal. A velocidade do

movimento axial da coluna de perfuração está relacionada às pressões de "surto" e "varredura" encontradas durante operações de perfuração quando a coluna de perfuração é descida no, ou retirada do furo de sondagem. A rotação da coluna de perfuração é usada igualmente para determinar pressões dinâmicas, uma vez que a rotação cria uma força de atrito entre o fluido no segmento anular e a coluna de perfuração. A profundidade da broca de perfuração, a profundidade do furo de sondagem, e a geometria do furo de sondagem e da coluna de perfuração são todas usadas para ajudar a gerar os segmentos do furo de sondagem a ser modelados. A fim de calcular a densidade do fluido, o presente modo de realização considera não apenas a pressão hidrostática exercida pelo fluido, mas também a compressão do fluido, a expansão térmica do fluido e a carga dos detritos de corte da broca do fluido observados durante operações de perfuração. Será apreciado que a carga dos detritos de corte pode ser determinada quando o fluido é retornado à superfície e recondicionado para uso posterior. Todos estes fatores podem ser usados no cálculo da "pressão estática" do fluido no segmento anular.

O cálculo da pressão dinâmica inclui muito dos mesmos fatores usados para determinar a pressão estática. Entretanto, o cálculo da pressão dinâmica considera adicionalmente vários outros fatores. Entre eles está se o fluxo de fluido é laminar ou turbulento. Se o fluxo é laminar ou turbulento está relacionado à aspereza estimada, ao tamanho do furo de sondagem e à vazão do fluido. O cálculo igualmente considera a geometria específica para o segmento em questão. Isto poderia incluir a excentricidade do furo de sondagem e a geometria específica do segmento da coluna de perfuração (por exemplo, conexão rosqueada ou "recalques por tubo e válvula de pé") que afeta a vazão observada em qualquer segmento do segmento anular do furo de sondagem. O cálculo da pressão dinâmica, Além disto, inclui a acumulação dos detritos de corte no furo de sondagem, assim como a reologia do fluido e o efeito (axial e rotatório) do movimento da coluna de

perfuração na pressão dinâmica do fluido.

Pode ser apreciado que a natureza do modelo e a disponibilidade de parâmetros de entrada afetarão a exatidão relativa do modelo, mas o princípio permanece o mesmo.

5 O diferencial de pressão 262 para todo o segmento anular é calculado e comparado à pressão do ponto de ajuste 256 no módulo de controle 264. A contrapressão desejada 266 é então determinada e levada ao controlador lógico programável 238, que gera sinais de controle para a bomba de contrapressão 128 e o estrangulador 130. Geralmente, a contrapressão é
10 aumentada reduzindo-se a abertura do estrangulador. A contrapressão é diminuída aumentando-se a abertura do estrangulador. Como será explicado mais detalhadamente abaixo, a abertura particular do estrangulador existente a qualquer hora pode ser usada como um indicador que um evento de controle do poço está ocorrendo, a saber, que o fluido da formação está entrando no
15 furo de sondagem de uma ou mais das formações (um "coice"), ou o fluido de perfuração está deixando o furo de sondagem e entrando em uma ou mais das formações adjacentes ao furo de sondagem ("perda de circulação").

4. Calibração e Correção da Contrapressão

A discussão acima é como a contrapressão é geralmente
20 calculada usando-se a pressão do furo abaixo. Este parâmetro é determinado no furo abaixo e é transmitido tipicamente para cima pela coluna de lama usando-se pulsos de pressão da lama. Porque a largura da banda de dados para a telemetria do pulso da lama é muito baixa e a largura da banda ser usada igualmente por outras funções de MWD/LWD, bem como funções de
25 controle da coluna de perfuração, e pressão do furo abaixo, essencialmente não pode ser entrada como dado no modelo de DAPC em uma base de tempo real. Conseqüentemente, será apreciado que é provável que haja uma diferença entre a pressão medida do furo abaixo, quando transmitida até a superfície usando-se a telemetria do pulso da lama, e a pressão prognosticada

do furo abaixo para essa profundidade. Quando isto ocorre o sistema de DAPC computa ajustes para os parâmetros e os implementa no modelo para fazer uma estimativa nova, melhor, da pressão do furo abaixo. As correções ao modelo podem ser feitas variando-se qualquer um dos parâmetros variáveis. No presente modo de realização, qualquer uma da densidade do fluido e viscosidade do fluido é modificada a fim de corrigir a pressão prognosticada do furo abaixo para a pressão real no fundo de poço. Além disto, no presente modo de realização a medida real da pressão do furo abaixo é usada para calibrar apenas a pressão calculada do furo abaixo, mais do que para prever a pressão anular do furo abaixo. Com telemetria do furo abaixo essencialmente contínua para permitir transmissão essencialmente em tempo real da pressão e da temperatura perto do fundo do furo de sondagem, é então igualmente prático incluir informação da pressão e da temperatura do furo abaixo em tempo real para corrigir o modelo.

Quando há um retardo entre a medida da pressão do furo abaixo e outras entradas em tempo real, o sistema de controle 236 de DAPC opera adicionalmente para posicionar as entradas de dados de modo que entradas em tempo real se correlacionem corretamente com as entradas retardadas transmitidas do furo abaixo. Entradas do sensor do equipamento de perfuração, diferencial de pressão calculado e pressões de contrapressão, bem como, medidas do furo abaixo, podem ser identificadas por “data/hora ou por “profundidade”, uma vez que as entradas de dados e os resultados podem ser corretamente correlacionados com dados do furo abaixo recebidos mais tarde. Usando-se uma análise de regressão baseada em um conjunto de medidas reais da pressão recentemente identificadas por data/hora, o modelo pode ser ajustado para prognosticar mais precisamente a pressão real e a contrapressão exigida. No caso em que não haja nenhuma identificação por data/hora ou por profundidade o mesmo processo da análise de regressão pode ser usado para comparar a pressão real e a calculada no furo abaixo.

A FIG. 5 descreve a operação do sistema de controle de DAPC demonstrando um modelo de DAPC não calibrado. Será notado que a pressão do furo abaixo enquanto perfurando (PWD) 400 muda com o tempo como resultado do retardo de tempo para o sinal ser selecionado e transmitido furo
5 acima. Em consequência, existe um desvio significativo entre a pressão prognosticada pelo DAPC 404 e a pressão sem identificação de tempo enquanto perfurando ou medida da pressão anular 400 (PWD). Quando a PWD é identificada por data/hora e deslocada para trás no tempo 402, o diferencial entre a PWD 402 e a pressão prognosticada pelo DAPC 404 é
10 significativamente menor do que quando comparado à PWD 400 não deslocada no tempo. Não obstante, a pressão prognosticada pelo DAPC difere significativamente. Como notado acima, este diferencial é tratado modificando-se as entradas de dados do modelo para a densidade do fluido 150 e a viscosidade, ou ambos. Baseado nas novas estimativas, na FIG. 6, a
15 pressão prognosticada pelo DAPC 404 segue mais de perto a pressão real no fundo de poço 402. Assim, o modelo de DAPC usa a pressão real no fundo de poço para calibrar a pressão prognosticada e modificar as entradas do modelo para refletir mais precisamente a pressão do furo abaixo por todo o perfil do furo de sondagem.

20 Baseado na pressão prognosticada pelo DAPC, o sistema de controle 236 do DAPC calculará o nível exigido da contrapressão 266 e o transmitirá ao controlador de lógica programável (FIG. 4 238). O controlador programável 238 gera então os sinais de controle necessários para o estrangulador 130, válvulas necessárias e bomba de contrapressão 128, como
25 exigido, dependendo do modo de realização em uso.

Em um modo de realização particular, o cálculo da pressão prognosticada do furo de sondagem pelo sistema de DAPC é retardado após cada vez que as bombas de Lama do Equipamento são ligadas, pelo menos até que a pressão da lama de perfuração na saída da bomba de lama seja

aproximadamente a mesma que a da contrapressão existente na entrada do estrangulador. A finalidade do presente modo de realização é superar vários artefatos adversos na modelagem da pressão causados pelo carregamento do sistema de circulação de lama após ter reiniciado as bombas de Lama do Equipamento. Será apreciado que quando as bombas de Lama do Equipamento são inicialmente ligadas, como após a adição de um segmento novo de tubulação de perfuração à coluna de perfuração ("fazendo uma conexão"), uma quantidade substancial de lama de perfuração será adicionada ao volume total do sistema de circulação da coluna de perfuração e furo de sondagem devido ao vazio na coluna de perfuração e á compressão da lama quando é pressurizada pelas bombas de Lama do Equipamento ao grau necessário para superar todo o atrito no sistema da circulação. O presente modo de realização pode ser particularmente benéfico no caso de um medidor de fluxo não estar disponível no circuito de descarga do fluido do furo de sondagem.

5. Aplicações do sistema de DAPC

A vantagem em usar o sistema de contrapressão controlada DAPC pode ser prontamente observada no mapa da FIG. 7. A pressão hidrostática do fluido é representada pela linha 302. Como pode ser visto a pressão hidrostática aumenta como uma função linear da profundidade do furo de sondagem de acordo com a fórmula:

$$P = \rho g TVD + C$$

onde P é a pressão, ρ é a gravidade específica do fluido, TVD é a profundidade vertical total do furo de sondagem, g é a constante gravitacional da Terra e C é a contrapressão suprida pelo sistema de contrapressão. No caso da pressão hidrostática do gradiente da água 302, a densidade do fluido é a da água. Além disso, em um sistema de circulação aberta, a contrapressão C é sempre zero. A fim de se assegurar que a pressão anular seja maior do que a pressão do poro da formação 300, o fluido é

adensado (sua densidade é aumentada), aumentando deste modo a pressão aplicada em relação à profundidade no furo de sondagem. O perfil da pressão do poro 300 pode ser visto na FIG. 7 como sendo linear, até o momento em que sai do revestimento 20, quando então, é exposto à pressão real da formação, resultando em um aumento repentino na pressão da formação. Em operações normais, a densidade do fluido pode ser selecionada de modo que a pressão anular exceda a pressão do poro da formação abaixo do revestimento 20.

Por contraste o uso do sistema de contrapressão controlada DAPC permite que um operador faça mudanças na pressão anular essencialmente em etapas. As linhas da pressão DAPC 303 estão mostradas na Fig. 7 em resposta ao aumento observado na pressão do poro em x a contrapressão C pode ser aumentada para aumentar a pressão anular de 300 a 303 em resposta à pressão do poro crescente com as técnicas normais da pressão anular como mostrado na Fig. 1, linha 14. O sistema DAPC oferece, além disto, a vantagem de ser capaz de diminuir a contrapressão em resposta a uma diminuição na pressão do poro como mostrado em 300c. Será apreciado que a diferença entre a pressão anular mantida pelo DAPC 303 e a pressão do poro 300c conhecida como pressão sobrebalanceada pode ser significativamente menor do que a pressão sobrebalanceada vista usando-se métodos de controle da pressão convencionais como será explicado na Fig. 8. Condições altamente contrabalanceadas podem afetar adversamente a permeabilidade da formação forçando quantidades maiores do fluido do furo de sondagem para dentro da formação e pela possibilidade de não ser capaz de controlar a perda de fluido e, deste modo, impedir a perfuração do furo de sondagem adequadamente e de maneira segura.

A FIG. 8 é um gráfico mostrando uma aplicação do sistema DAPC em um ambiente de perfuração balanceado (ABD), ou próximo de ABD. A situação na FIG. 8 mostra o gradiente da pressão do poro em um

intervalo 320a como sendo substancialmente linear e o fluido nas formações sendo mantido sob controle pela pressão anular convencional 320b. Um aumento repentino na pressão do poro ocorre como mostrado em 320b. O processo normal seria descer um revestimento 20 até este ponto e utilizar técnicas de controle da pressão como conhecidas na técnica, o procedimento seria aumentar a densidade do fluido para impedir o influxo do fluido da formação ou, a instabilidade do furo de sondagem. O aumento resultante na densidade modifica o gradiente de pressão do fluido àquele mostrado em 321b. O limite para a perfuração convencional é, desse modo, onde 321b intercepta o gradiente reduzido da fratura 323b devido à limitação de perfurar até a profundidade total planejada 400.

Usando-se o sistema DAPC, a técnica para controlar o furo de sondagem a vista do aumento de pressão observado em 320b é aplicar contrapressão ao fluido no segmento anular para mudar todo o perfil da pressão do segmento anular para a direita, de modo que o perfil da pressão 322 case mais proximamente com as pressões do poro 320a e 320b e 320c enquanto o poço é perfurado, ao contrário do mostrado pelo perfil de pressão 321b. Este método permite então a perfuração de todo o poço até a profundidade total planejada 400 sem a inserção da coluna de revestimento 20.

O sistema DAPC pode igualmente ser usado para controlar um evento principal de controle de poço, tal como um influxo de fluido. Sob os métodos conhecidos da técnica, no caso de um grande influxo do fluido da formação, tal como um coice de gás, o único procedimento prático de controle da pressão do furo de sondagem era fechar as BOPs para efetivamente "fechar" (vedar) hidráulicamente o furo de sondagem, aliviar o excesso de pressão no segmento anular através de um estrangulador e um distribuidor de descarga, e adensar o fluido de perfuração para prover pressão anular adicional. Esta técnica demora para deixar o poço sob controle. Um método

alternativo é chamado às vezes o “método do perfurador”, e usa circulação contínua do fluido de perfuração sem fechar o furo de sondagem. O método “Adensar e Esperar” envolve circular um suprimento de fluido pesadamente adensado, por exemplo, 3.157kg/l, quando um coice de gás ou influxo do fluido de formação é detectado, o fluido pesadamente adensado é adicionado e circulado no furo abaixo, fazendo com que o fluido do influxo entre em solução no fluido de circulação. O fluido do influxo começa a sair da solução com a aproximação da superfície como identificado pela lei de Boyles e é liberado através do distribuidor do estrangulador. Será apreciado que embora o método do Perfurador proveja circulação contínua do fluido, ele pode, além disto, exigir tempo adicional de circulação sem perfuração adiante, usando-se o método Adensar e Esperar para impedir influxo adicional do fluido da formação e para permitir que o gás da formação entre na circulação com o fluido de perfuração com uma densidade, agora, mais alta.

Utilizando a presente técnica de DAPC, quando um influxo do fluido da formação é detectado, a contrapressão é aumentada, ao contrário a adicionar o fluido pesadamente adensado. Como no método do Perfurador, a circulação da lama continua. Com o aumento na pressão do segmento anular, o influxo do fluido de formação entra em solução no fluido de circulação e é liberado através do distribuidor do estrangulador. Porque a pressão foi aumentada e é possível continuar a circular com a contrapressão adicional, já não é necessário circular imediatamente um fluido pesadamente adensado. Além disso, em consequência de o fato da contrapressão ser aplicada diretamente ao segmento anular, o fluido da formação é forçado a entrar em solução rapidamente ao contrário de ter que esperar até que o fluido pesadamente adensado esteja circulando no segmento anular.

Uma aplicação adicional da técnica de DAPC refere-se a seu uso em sistemas de circulação não-contínua. Como notado acima, os sistemas de circulação contínua são usados para ajudar a estabilizar a formação,

evitando as quedas de pressão repentinas 502 que ocorrem quando as bombas de lama são desligadas para fazer/romper novas conexões da tubulação. Esta queda de pressão 502 é seguida subsequentemente por um pico da pressão 504 quando as bombas são religadas para as operações de perfuração. Isto está apresentado na FIG. 9A. Estas variações na pressão anular 500 podem afetar adversamente o bolo de lama do furo de sondagem, e podem resultar em invasão do fluido dentro da formação. Como mostrado na FIG. 9B, a contrapressão 506 do sistema DAPC pode ser aplicada ao segmento anular com o fechamento das bombas de lama, melhorando a queda repentina na pressão do segmento anular devido à condição de bomba desligada para uma queda de pressão mais suave 502. Antes ligar as bombas, a contrapressão pode ser reduzida de modo que a bomba em condição de pico 504 seja também reduzida. Assim o sistema de contrapressão DAPC é capaz de manter a pressão do furo abaixo relativamente estável durante as condições de perfuração.

6. Determinação de Eventos de Controle de Poço com o sistema DAPC

Foi determinado que um sistema DAPC tal como este explicado acima em referência às FIGS. 2A a 9B, e outro que será explicado mais abaixo em referência à FIG. 10, podem ser usados para determinar a existência de eventos de controle de poço. Eventos de controle de poço incluem influxo do fluido das formações da Terra que circundam o furo de sondagem, e o efluxo do fluido no furo de sondagem para dentro das formações circunvizinhas. Um evento de influxo (chamado um "coice") pode ser detectado comparando-se a pressão calculada do interior do poço à pressão real do interior do poço. O cálculo da pressão do furo abaixo pode ser feito usando-se um modelo de hidráulica que determina a pressão do furo abaixo baseado em uma densidade média esperada do fluido no segmento anular, normalmente a densidade do fluido de perfuração quando bombeado através da coluna de perfuração. A pressão real do furo abaixo registrada é

medida tipicamente próximo à broca de perfuração com um sensor da pressão anular ou por alguma outra forma de medida da pressão no fundo de poço que meça a pressão real do furo abaixo.

Caso ocorra um influxo e haja um contraste da densidade entre o fluido do influxo e o fluido de perfuração que está no furo de sondagem, o modelo calculado e a pressão real do furo abaixo no furo de sondagem divergirão em consequência da diferença na pressão calculada da coluna do fluido e a pressão real como medida, se a coluna for estática ou dinâmica. Esta divergência pode ser registrada como um erro pelo sistema DAPC e a ação corretiva pode ser tomada para manter a pressão do furo abaixo no valor desejado (a pressão do ponto de ajuste), ou reduzindo-se a abertura do estrangulador se a densidade do influxo for menor do que a densidade do fluido no poço, ou aumentando-se a abertura do estrangulador, um pouco, se a densidade do influxo for maior do que a densidade do fluido no poço. Mudança na abertura do estrangulador resultante destas diferenças de pressão no fundo de poço, quando não há mudança na vazão do fluido bombeado, é usada como um indicador de que ocorreu um influxo.

Outra característica de um influxo é que a abertura do estrangulador pode aumentar um pouco devido à velocidade de descarga do fluido aumentada na superfície da Terra, e então se estabilizar em uma nova abertura, que pode ser menor, maior ou a mesma que a abertura imediatamente anterior do estrangulador, dependendo da densidade do fluido do influxo e do atrito devido ao fluxo de fluido adicional. Se o influxo continua e a densidade for menor do que a densidade do fluido de perfuração e a queda da pressão de atrito não for significativa, a densidade média do fluido no furo de sondagem continuará a diminuir e a abertura do estrangulador continuará a fechar-se em resposta ao sistema DAPC tentar manter a pressão do furo abaixo no valor do ponto de ajuste. Inversamente, se a densidade do fluido do influxo for maior do que a densidade do fluido do

furo de sondagem, como o influxo fluido continua, a densidade da coluna de fluido no segmento anular do furo de sondagem aumentará, fazendo assim com que o sistema DAPC continue a aumentar a abertura do estrangulador quando a queda da pressão de atrito não for significativa.

5 O sistema DAPC determina a nova abertura do estrangulador baseado em um ajuste da pressão prognosticada do furo abaixo em relação à pressão real medida do furo abaixo. No caso de um influxo de fluido com uma densidade menor, a pressão prognosticada do furo abaixo será menor do que o prognóstico anterior porque o influxo do fluido continuou a reduzir a
10 densidade média da coluna de fluido no segmento anular enquanto a queda da pressão de atrito devido ao fluxo aumentado em consequência do influxo não for suficiente para aumentar a pressão no fundo de poço. Isto continuará a indicar um erro e o sistema DAPC corrigirá para este erro continuando a fechar o estrangulador enquanto durar o influxo e a densidade média do fluido
15 no furo de sondagem continue a diminuir. No caso do fluido do influxo ter uma densidade mais alta do que a do fluido de perfuração, por exemplo, influxo de uma zona de água salgada quando perfurando com um fluido de perfuração baseado em óleo, o sistema DAPC abrirá a abertura do estrangulador para reduzir a pressão de superfície do segmento anular a fim
20 de compensar a densidade média crescente do fluido no segmento anular enquanto o influxo continua, a densidade média esteja aumentando e a queda da pressão de atrito do influxo não seja suficiente para aumentar a pressão no fundo de poço.

O outro caso é quando a densidade do influxo é praticamente
25 igual à densidade do fluido existente no furo de sondagem. Neste caso o estrangulador pode abrir um pouco devido ao aumento no volume da descarga quando a queda de pressão de atrito do influxo não for suficiente para aumentar a pressão no fundo de poço e então continuar na nova abertura ou em uma abertura média nova (devido à flutuação da abertura do estrangulador

usando-se o controlador PID 238, esta flutuação sendo tipicamente sinusoidal). O sistema DAPC produzirá um erro de que a abertura do estrangulador mudou sem mudanças calculadas pelo modelo de hidráulica uma vez que o modelo está usando vários parâmetros padrão para calcular a
5 pressão do furo abaixo, um deles sendo o fluxo dentro do poço na ausência de um medidor de fluxo 126. Enquanto a velocidade da bomba não muda, ou uma mudança na velocidade da bomba não tenha indicado que a abertura do estrangulador tenha que ser mudada pelo sistema DAPC, ocorrerá um erro. Conseqüentemente, um aumento sustentado na abertura do estrangulador sem
10 outra razão aparente pode ser pressuposto como sendo um coice quando a densidade do fluido da formação entrante for substancialmente a mesma que a da lama de perfuração quando a geometria do furo de sondagem for suficientemente grande o bastante e/ou a velocidade do influxo seja suficientemente baixa o bastante para não provocar um aumento significativo
15 na pressão no fundo de poço devido ao atrito aumentado no furo de sondagem.

A explanação acima da operação do modelo de hidráulica e do controle sobre a abertura do estrangulador é provida como fundamento para várias detecções de eventos de controle de poço e, métodos de atenuação que
20 podem ser executados usando-se o sistema DAPC. Em um método, a abertura do estrangulador quando controlada pelo sistema DAPC é monitorada. A abertura pode ser monitorada, por exemplo, por um sensor de posicionamento acoplado ao elemento de controle do estrangulador. Um tipo de sensor de posicionamento que pode ser apropriado para uso com o sistema DAPC é um
25 transformador diferencial variável linear (LVDT). Se a abertura do estrangulador é mudada pelo sistema DAPC por mais de um período de tempo transitório na ausência de qualquer mudança na vazão do fluido no poço e de qualquer mudança na pressão do fluido enquanto está sendo bombeado para dentro do poço, a medida desta mudança na abertura pode ser usada para

identificar um evento de influxo de fluido ou de perda de fluido no poço como explicado acima.

5 Outras implementações de um sistema DAPC podem prover controle automático sobre a abertura do estrangulador, mas sem medida relacionada a o que a abertura do estrangulador realmente é. Nestas implementações não há provisão para monitorar o posicionamento do controle da abertura do estrangulador. Nestas implementações é possível pressupor a existência de um evento de influxo de fluido ou de perda de fluido sem uma medida específica relacionada ao posicionamento do controle da abertura do
10 estrangulador. Nestas implementações, pelo menos uma da vazão dentro do poço e da vazão fora do poço é medida. A pressão real do fluido no fundo de poço é igualmente medida, como com um sensor da pressão anular disposto em um instrumento posicionado na coluna de perfuração próximo à parte inferior da coluna de perfuração.

15 Em um exemplo, a vazão de fluido no furo de poço é medida, e a pressão do fluido no segmento anular do furo de poço ou perto da superfície da Terra é medida. Uma pressão esperada do fluido no fundo de poço é calculada usando-se o modelo de hidráulica que opera com o sistema DAPC. As entradas de dados para o cálculo da pressão no fundo de poço
20 incluem a densidade do fluido (peso da lama), a vazão do fluido e a pressão do segmento anular na, ou perto da superfície. No caso de a pressão medida no fundo de poço diferir da pressão calculada no fundo de poço, um evento de influxo ou de perda de fluido no poço pode ser pressuposto. O sistema DAPC pode fazer com que a abertura do estrangulador mude até que a pressão
25 medida no fundo de poço case com a pressão calculada no fundo de poço.

Devido à diferença na pressão medida no fundo de poço e a pressão calculada no fundo de poço, o sistema DAPC pode automaticamente mudar a densidade do fluido (peso da lama) que entrou como dado no modelo de hidráulica de modo que a pressão medida no fundo de poço e a pressão

calculada no fundo de poço casem aproximadamente. Esta mudança na densidade do fluido que entrou como dado é provida porque nem a vazão do fluido dentro do furo de poço, nem a pressão do segmento anular mudaram materialmente durante o evento de controle de poço. Assim, para fazer com que a pressão calculada no fundo de poço case com a pressão medida no fundo de poço, é necessário mudar pelo menos uma da densidade do fluido da entrada e vazão de fluido. Em um modo de realização se uma mudança em pelo menos uma a densidade do fluido e a vazão do fluido que entraram como dados no modelo de hidráulica exceder um limiar selecionado, o sistema DAPC pode gerar um sinal de advertência 1.

Em alguns modos de realização, o sistema DAPC pode mudar a abertura do estrangulador de modo que a pressão medida no fundo de poço seja movida em direção à pressão calculada no fundo de poço.

Em outro modo de realização, uma pressão esperada no fundo de poço pode ser calculada do modelo de hidráulica usando-se como entrada a densidade do fluido (peso da lama), a vazão de fluido fora do furo de sondagem e a pressão do segmento anular próximo à superfície da Terra. A pressão calculada no fundo de poço é comparada à pressão medida no fundo de poço. Se as duas pressões diferirem, o sistema DAPC pode mudar automaticamente a densidade do fluido da entrada de dado para o modelo de hidráulica até que as pressões casem aproximadamente. Se a mudança na densidade do fluido exceder um limiar selecionado, então, o sistema DAPC pode gerar um sinal de advertência. O sistema DAPC pode igualmente operar o estrangulador para que a pressão medida no fundo de poço case substancialmente com a pressão calculada no fundo de poço.

Em outro modo de realização o sistema DAPC pode mudar a pressão medida no fundo de poço até que a mudança na entrada de dado de densidade do fluido tenha se estabilizado.

Em outro modo de realização o DAPC pode mudar a pressão

medida no fundo de poço até que alcance um novo valor do ponto de ajuste.

Em qualquer uma das implementações antecedentes, um sinal de advertência pode igualmente ser gerado se a pressão calculada no fundo do poço e a pressão medida no fundo do poço diferirem por mais de um limiar selecionado.

7. Modo de Realização Alternativo do Sistema de Controle da Contrapressão Usando-se Apenas as Bombas de Lama do Equipamento

É igualmente possível prover pressão do fluido do segmento anular selecionada, controlada, sem a necessidade de uma bomba adicional para suprir contrapressão ao segmento anular quando esta contrapressão tiver que ser gerada por uma bomba, como explicado acima em referência à FIG. 2B. Outro modo de realização de um sistema de contrapressão que usa as bombas de Lama do Equipamento é mostrado de forma esquemática na FIG. 10. A bomba(s) de Lama do Equipamento, mostrada em 138 descarrega lama de perfuração a velocidades de fluxo e pressões selecionadas, como é comumente executado durante operações de perfuração. No presente modo de realização, um primeiro medidor de fluxo 152 pode ser disposto no trajeto do fluxo da lama de perfuração a jusante da bomba(s) 138. O primeiro medidor de fluxo 152 pode ser usado para medir a vazão do fluido de perfuração enquanto é descarregado da bomba(s) 138. Alternativamente, um "contador de pulsos" familiar, que estime o volume de descarga da lama monitorando o movimento da bomba(s) pode ser usado para estimar a velocidade total do fluxo da bomba(s) 138. O fluxo do fluido de perfuração é então aplicado a um primeiro estrangulador de orifício controlável 130A, cuja saída é finalmente acoplada ao tubo vertical 602 (o qual, por sua vez, é acoplado à entrada da passagem interior na coluna de perfuração). Durante operações de perfuração regulares, o primeiro estrangulador 130A está, normalmente, totalmente aberto.

A descarga do fluido de perfuração da bomba(s) 138 está

também acoplada a um segundo estrangulador de orifício controlável 130B, cuja saída é finalmente acoplada à descarga do poço (o segmento anular 604). Como nos modos de realização previamente descritos, o interior do poço é vedado por um cabeçote de controle de rotação ou por uma BOP esférica, mostrada em 142. Não mostrados na FIG. 10 estão a coluna de perfuração e outros componentes no poço localizados abaixo do cabeçote de controle de rotação 142, porque podem ser essencialmente idênticos aos usados em outros modos de realização, particularmente como mostrado na FIG. 2. Um terceiro estrangulador de orifício controlável 130 pode ser acoplado entre o segmento anular 604 e o tanque ou poço da lama (136 na FIG. 2) e controla a pressão com que a lama perfuração sai do poço para manter uma contrapressão selecionada no segmento anular, similarmente ao que é executado nos modos de realização previamente descritos.

O primeiro 130A e o segundo 130B estranguladores de orifício controláveis podem, cada um, incluir a jusante deles um medidor de fluxo respectivo 152A, 152B. Junto com, ou o contador de pulso (não mostrado) ou com o primeiro medidor de fluxo 152 na descarga da bomba, a vazão do fluido de perfuração da bomba(s) 138 para dentro do tubo vertical e para dentro do segmento anular pode ser determinada. Os medidores de fluxo 152, 152A, 152B estão mostrados como tendo seus respectivos sinais de saídas acoplados ao PLC 238 na unidade de DAPC 236, que podem ser essencialmente os mesmos que os dispositivos correspondentes mostrados na FIG. 3. Saídas de controle do PLC 238 são providas para operar os três estranguladores de orifício controláveis 130, 130A, 130B.

Para fins de fazer ou romper conexões na coluna de perfuração durante a operação, é necessário liberar toda a pressão do fluido na parte superior da coluna de perfuração, embora possa ser necessário continuar a manter a pressão do fluido na parte superior do segmento anular conectado fluidicamente à linha de retorno. 604. Para executar as funções de pressão

necessárias, o PLC 238 pode operar o primeiro estrangulador de orifício controlável 130A para se fechar completamente. Então, uma válvula de sangria ou "descarga", 600 que pode estar sob controle operacional do PLC 238, é aberta para liberar toda a pressão do fluido de perfuração. A válvula de controle ou a válvula de sentido único na coluna de perfuração retém a pressão abaixo dela na coluna de perfuração. Assim, as conexões podem ser feitas ou rompidas para alongar ou encurtar a coluna de perfuração durante operações de perfuração.

Durante estas operações de conexão, a pressão selecionada do fluido no segmento anular é mantida controlando-se a operação da bomba(s) 138, e o segundo 130B e o terceiro 130 estranguladores de orifício controláveis. Este controle pode ser executado automaticamente pelo PLC 238 a não ser no caso de bomba que possa ser controlada pelo operador do equipamento uma vez que seria apenas necessário monitorar a vazão da bomba.

Durante operações de perfuração regulares, a pressão correta do fluido é mantida na linha do segmento anular 604 que está conectada fluidicamente ao segmento anular do furo de poço, usando-se o mesmo modelo de hidráulica como nos modos de realização precedentes, desviando seletivamente uma porção do fluxo da bomba(s) 138 para dentro da linha de retorno do segmento anular 604 controlando os orifícios do primeiro 130A e do segundo 130B estranguladores, e controlando a contrapressão necessária ajustando o terceiro estrangulador 130. Normalmente, durante a perfuração, o segundo estrangulador 130B pode permanecer fechado, de modo que a contrapressão no poço seja mantida inteiramente pelo controle do orifício do terceiro estrangulador 130, similar à maneira pela qual a contrapressão é mantida de acordo com os modos de realização precedentes. Normalmente, contempla-se que o segundo estrangulador 130B estará aberto durante os procedimentos de conexão, similar aos momentos em que a bomba de

contrapressão nos modos de realização precedentes seria operada.

O presente modo de realização elimina vantajosamente a necessidade de uma bomba separada para manter a contrapressão. O presente modo de realização pode ter vantagens adicionais sobre o modo de realização
5 mostrado na FIG. 2B que usa um arranjo de válvula para desviar o fluxo da lama das bombas de lama da torre perfuração para manter a contrapressão, a mais importante delas sendo que as conexões podem ser feitas sem a necessidade de parar as bombas de Lama do Equipamento e a precisão da medida do fluido ao redirecionar o fluxo do poço para a linha de retorno do
10 segmento anular para assegurar o cálculo correto da contrapressão.

Dependendo da configuração particular do equipamento, pode ser possível determinar a vazão da lama na linha de retorno do segmento anular 604 usando-se o contador de pulso (não mostrado) e o terceiro medidor de fluxo 152B, ou usando-se o primeiro e segundo medidores de fluxo 152,
15 152A, respectivamente.

Embora a invenção tenha sido descrita em relação a um número limitado de modos de realização, aqueles experientes na técnica, tendo o benefício desta divulgação, apreciarão que outros modos de realização podem ser planejados que não fujam do escopo da invenção como
20 aqui apresentada. Consequentemente, o escopo da invenção deveria ser limitado apenas pelas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar a existência de um evento de controle de poço controlando a pressão da formação durante a perfuração de um furo de sondagem (106) através de uma formação subterrânea (104),
5 caracterizado de fato de compreender:

bombear seletivamente um fluido de perfuração (150) através de uma coluna de perfuração (112) se estendendo em um furo de sondagem (106), para fora de uma broca de perfuração (120) na extremidade inferior da coluna de perfuração (112), e para dentro de um espaço anular (115) entre a
10 coluna de perfuração (112) e o furo de sondagem (106);

descarregar o fluido de perfuração (150) a partir do espaço anular (115) próximo à superfície da Terra;

aumentar seletivamente a pressão do fluido do espaço anular para manter uma pressão de fluido selecionada próximo do fundo do furo de sondagem (106) aplicando-se pressão de fluido ao espaço anular (115), o
15 aumento seletivo incluindo controlar uma abertura de um orifício acoplado funcionalmente a uma saída do espaço anular (115);

monitorar a abertura do orifício; e

determinar a existência de um evento de controle de poço
20 quando a abertura muda e a velocidade do bombeamento seletivo permanece substancialmente constante, em que o evento de controle de poço é determinado para ser um influxo de fluido para dentro do furo de poço (106) quando a abertura muda devido a um aumento ou diminuição na pressão real no fundo de poço, ou em que o evento de controle de poço é determinado para
25 ser uma perda de fluido do furo de poço (106) quando a abertura diminui devido a uma redução na pressão real no fundo de poço.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado de fato de que controlar a abertura de um orifício compreende controlar em estrangulador (130) de um sistema de contrapressão (131).

3. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado de fato de que determinar a existência de um evento de controle de poço compreende registrar uma diferença entre a pressão real no fundo de poço e uma pressão calculada no fundo de poço usando um modelo de hidráulica baseado em uma densidade média esperada do fluido no espaço anular (115).

4. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado de fato de compreender adicionalmente manter a pressão de fundo de poço em uma pressão do ponto de ajuste por redução da abertura se a densidade do influxo de fluido for menor do que a densidade do fluido de perfuração (150).

5. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado de fato de compreender adicionalmente manter a pressão de fundo de poço em uma pressão do ponto de ajuste por aumento da abertura se a densidade do influxo de fluido for maior do que a densidade do fluido de perfuração (150).

6. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado de fato de que a abertura muda de modo que a pressão real no fundo de poço é movida na direção da pressão de fundo de poço calculada.

7. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado de fato de a abertura muda de modo que a pressão real no fundo de poço atinge uma pressão do ponto de ajuste.

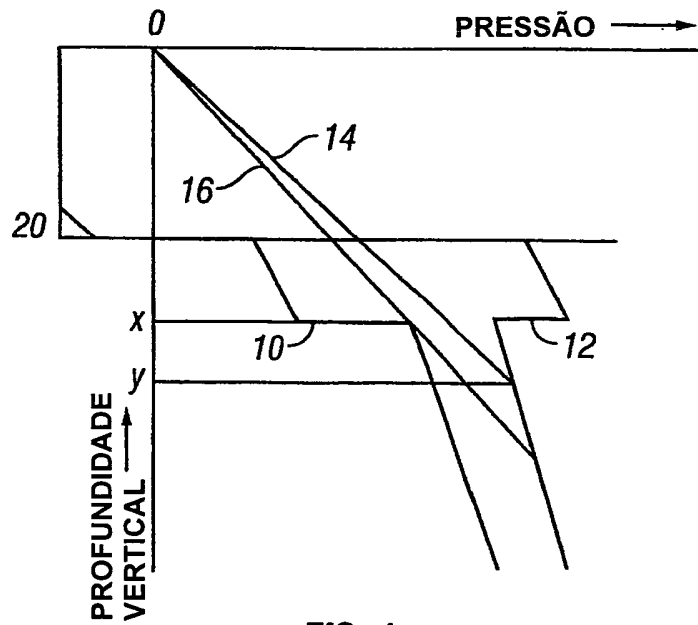


FIG. 1

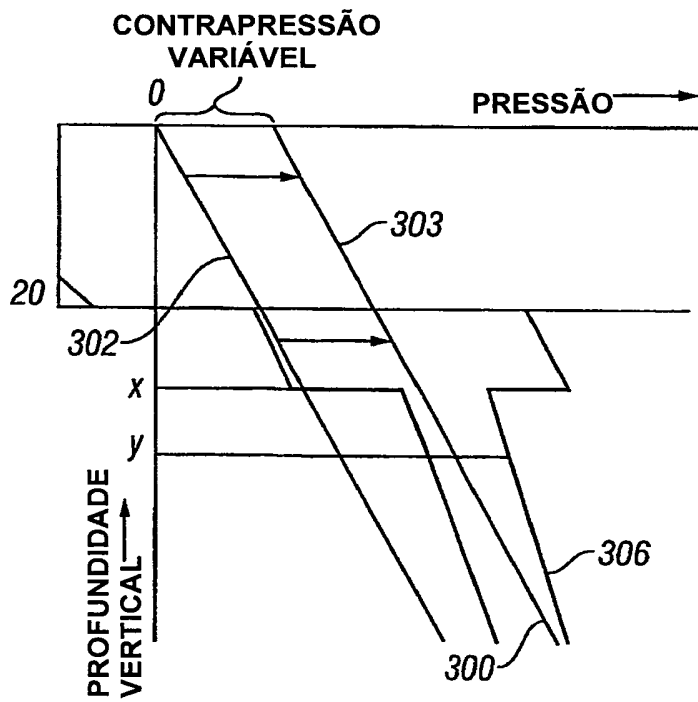


FIG. 7

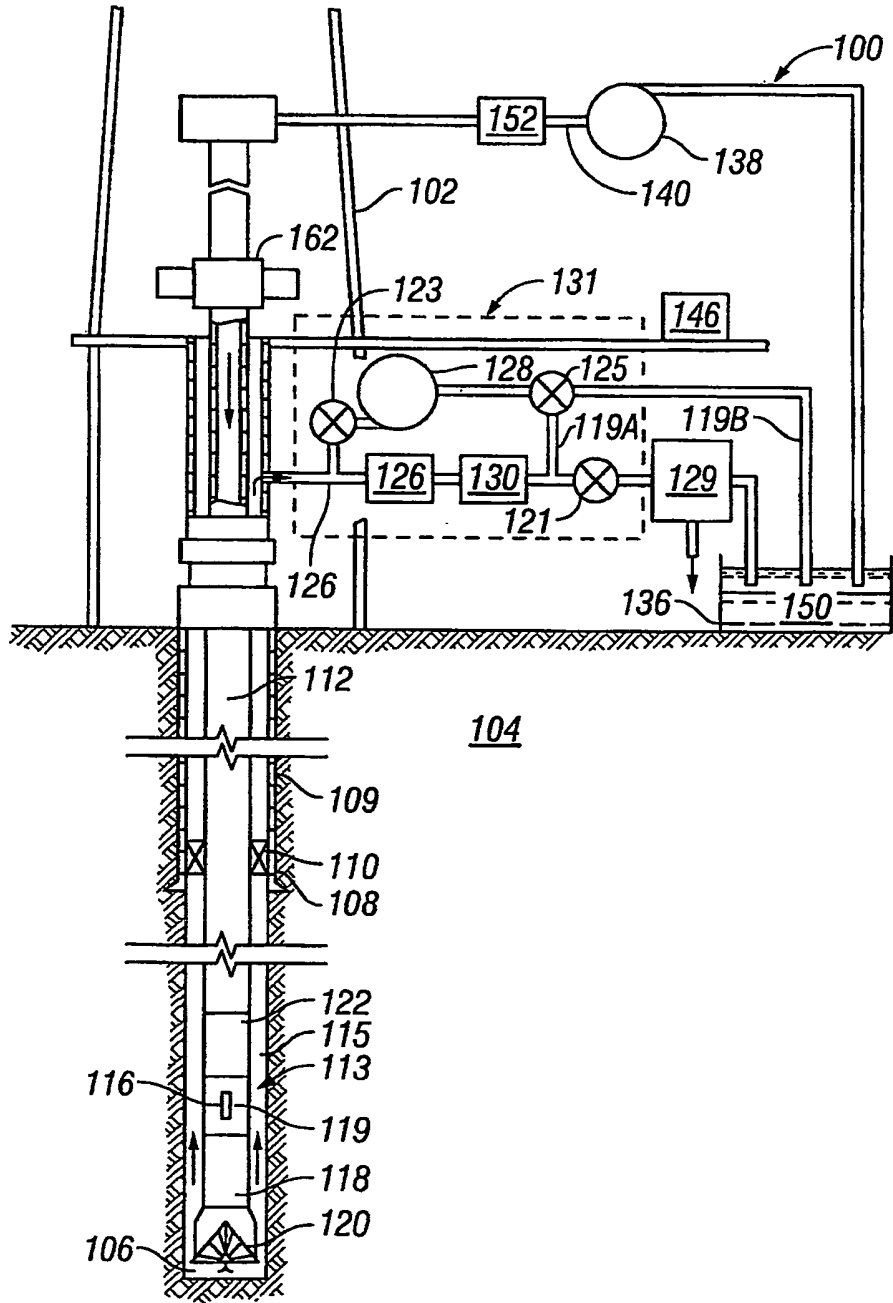


FIG. 2

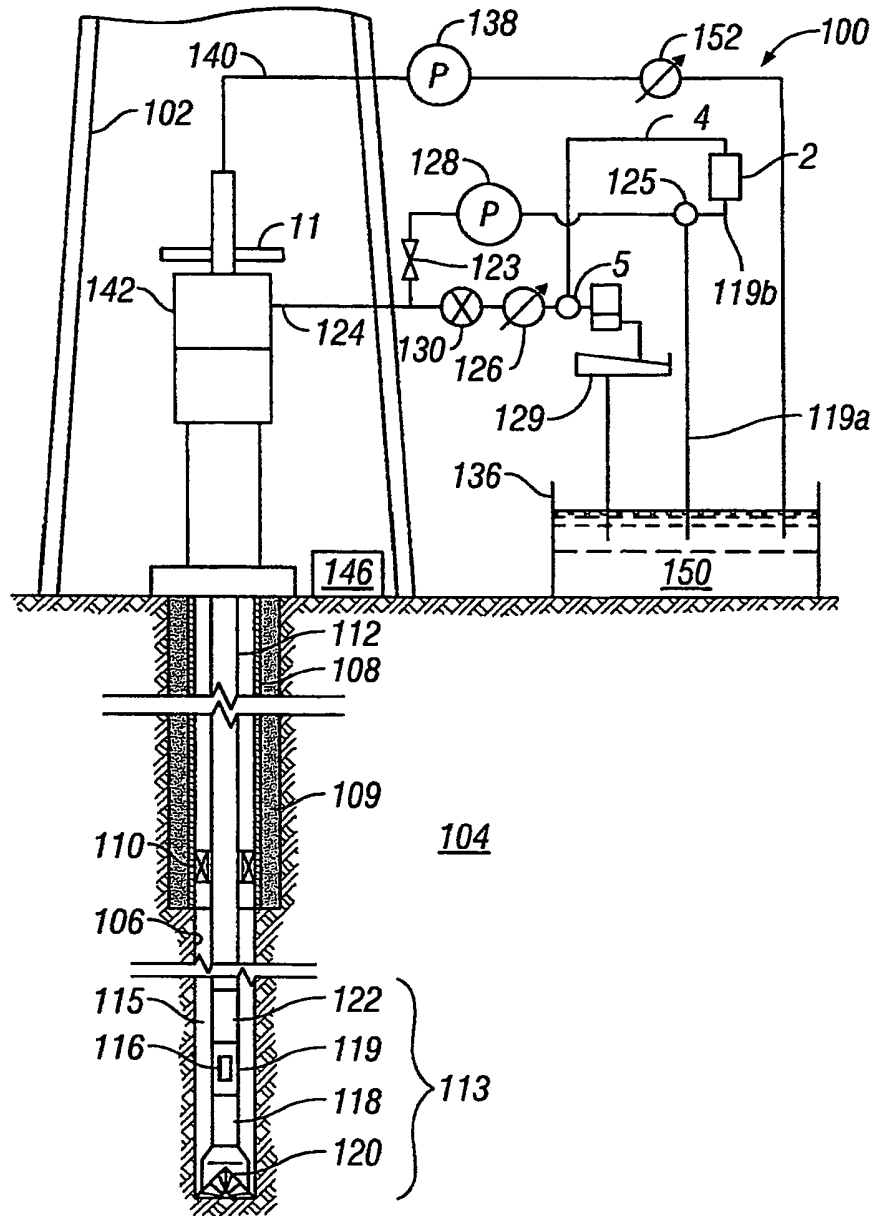


FIG. 2A

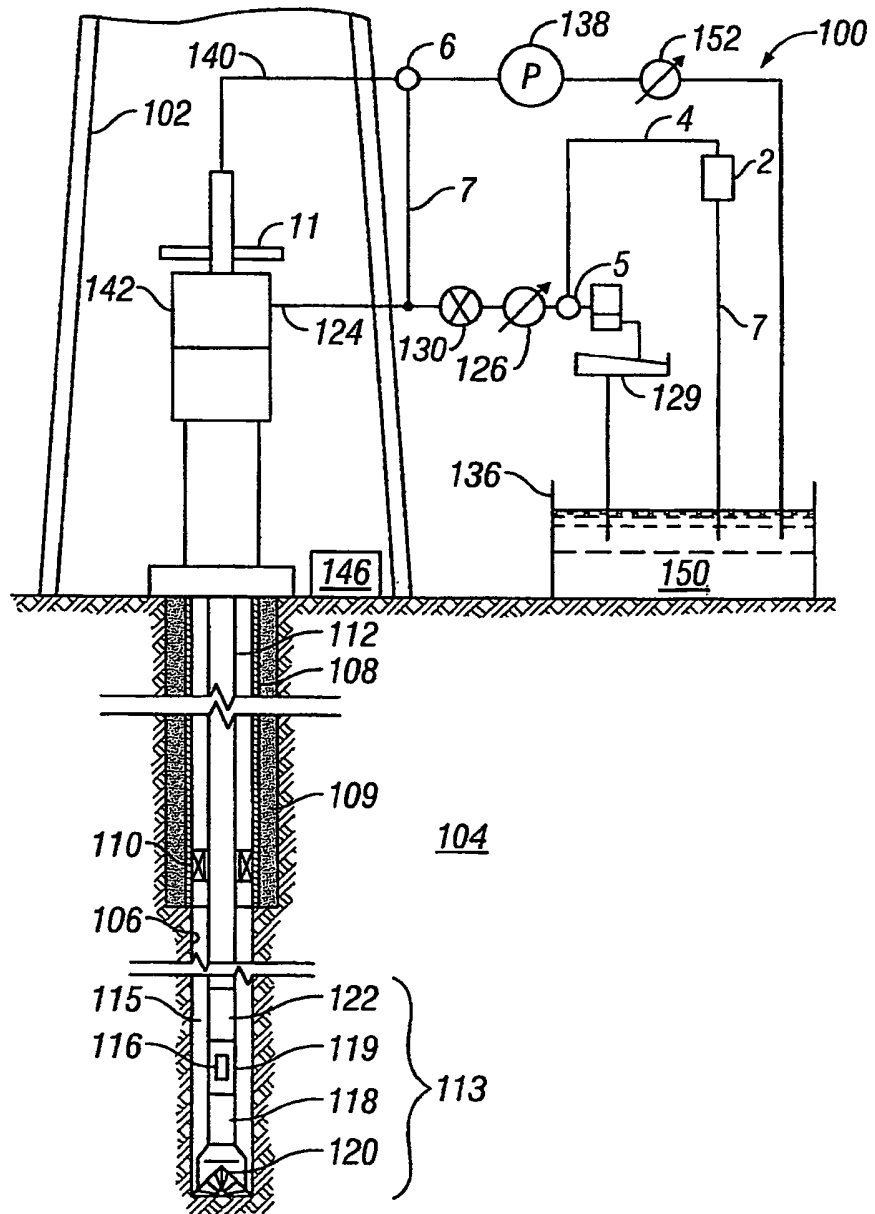


FIG. 2B

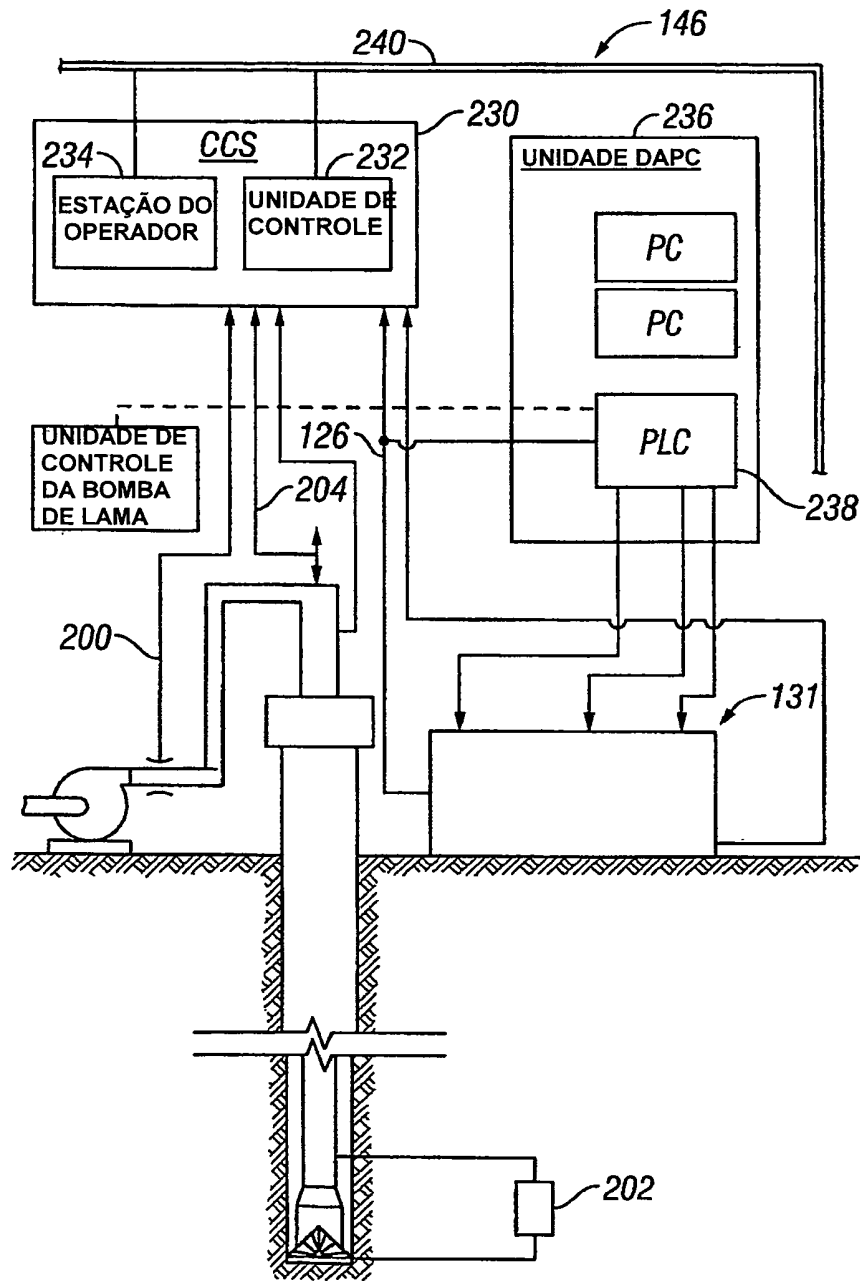


FIG. 3

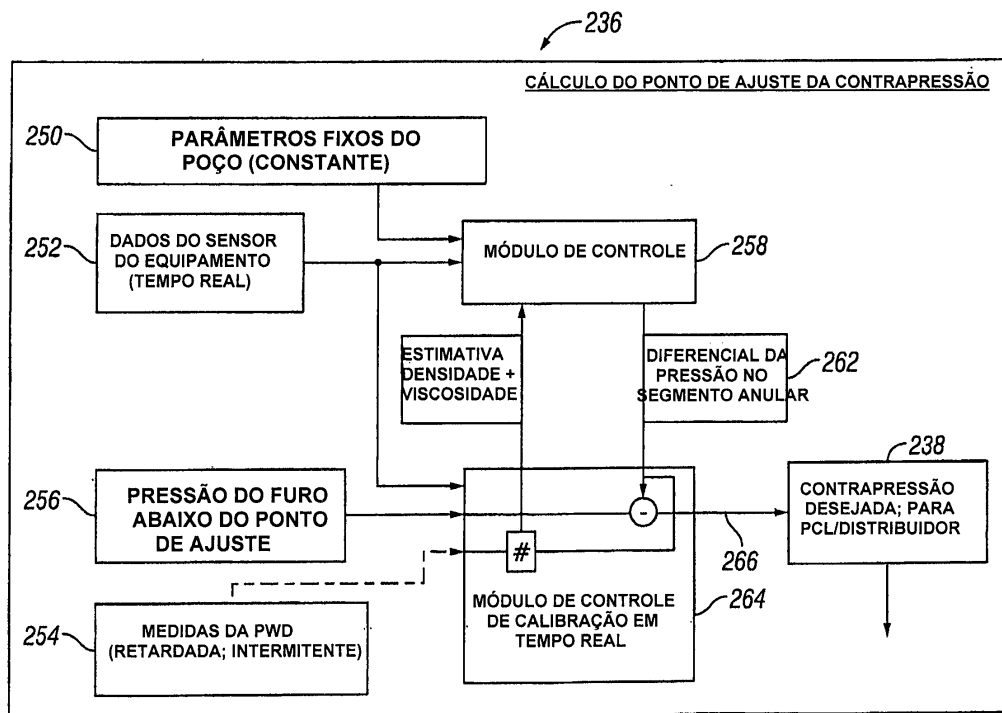


FIG. 4

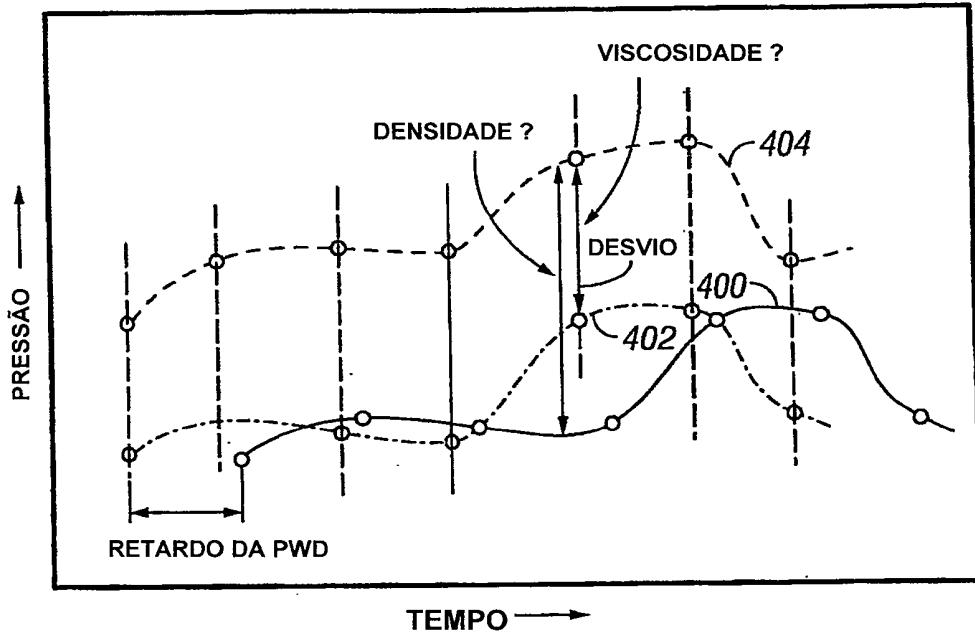


FIG. 5

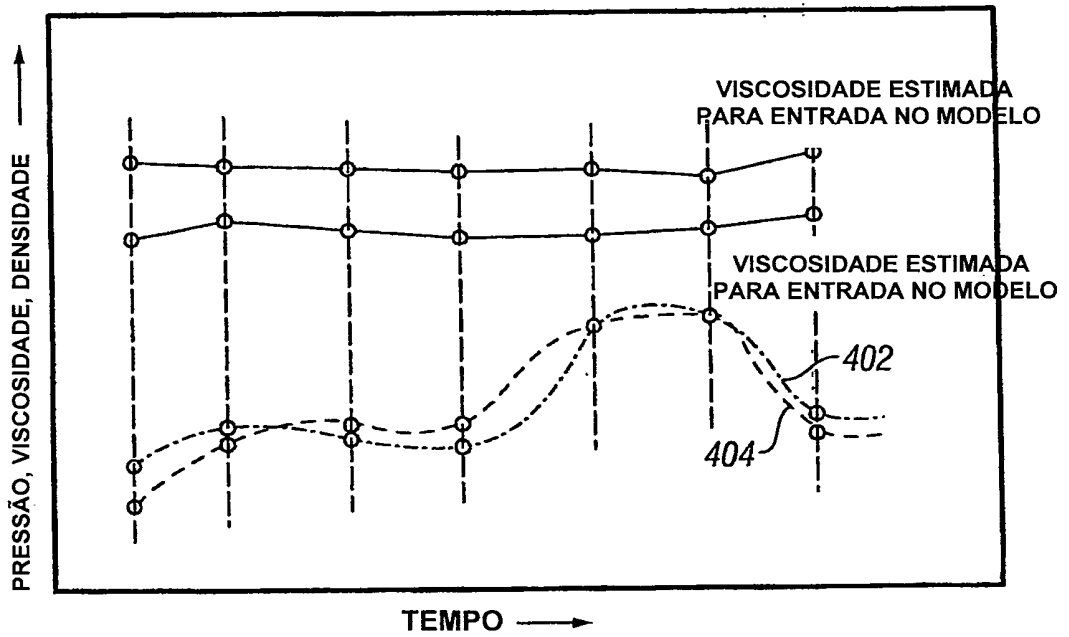


FIG. 6

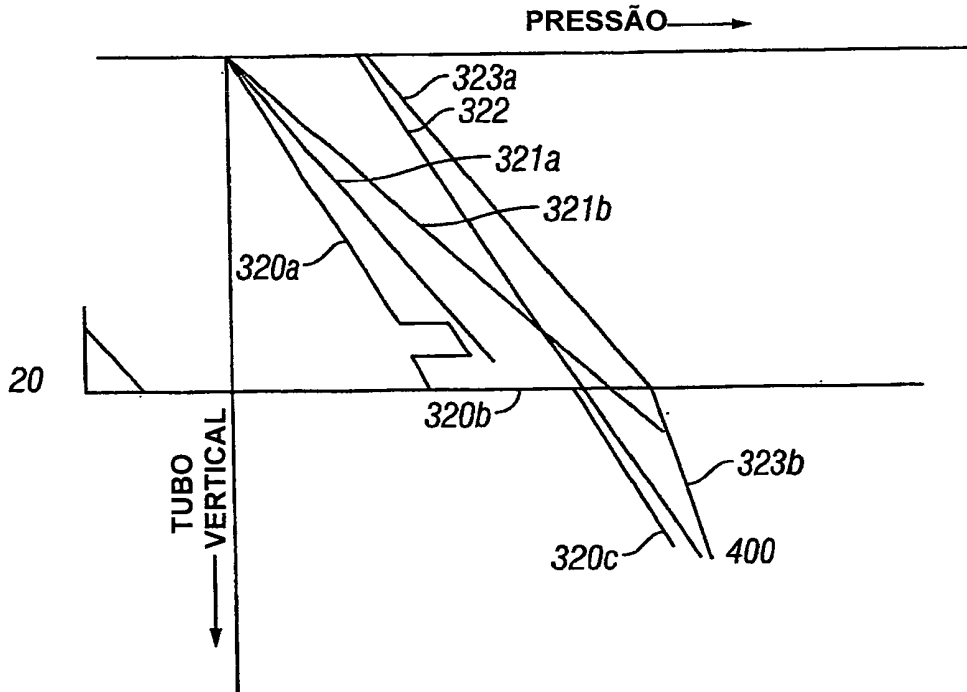


FIG. 8

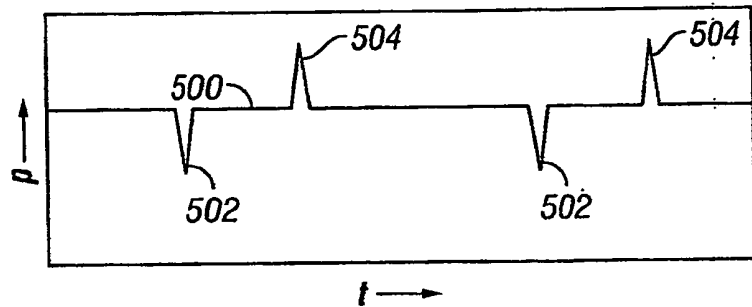


FIG. 9A

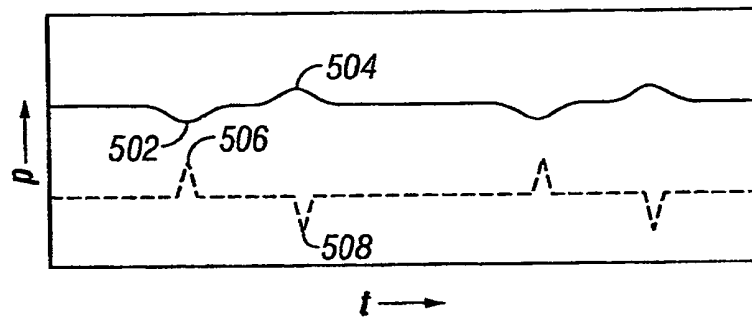


FIG. 9B

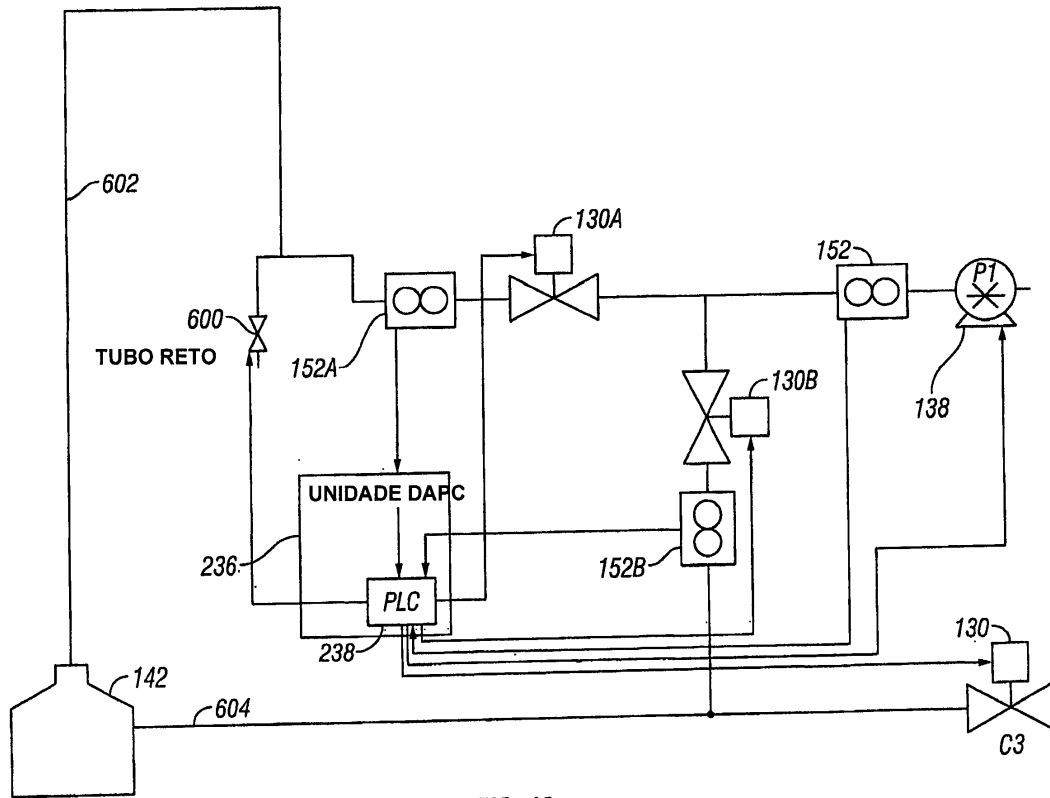


FIG. 10