



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

(11) PI 0508357-5 B1

(22) Data do Depósito: 01/03/2005

(45) Data de Concessão: 13/09/2016



(54) Título: MÉTODO PARA DETERMINAR A PRESSÃO DE SUPERCARGA EM UMA FORMAÇÃO INTERCEPTADA POR UM FURO DE SONDAGEM

(51) Int.Cl.: E21B 47/06

(30) Prioridade Unionista: 01/03/2004 US 60/549,092, 21/05/2004 US 60/573,370

(73) Titular(es): HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.

(72) Inventor(es): MARK A. PROETT, WILSON CHUNG-LING CHIN, JEAN MICHEL BEIQUE, JOHN R. HARDIN, JR., JAMES M. FOGAL, DAVID WELSHANS, GLENN C. GRAY

“MÉTODO PARA DETERMINAR A PRESSÃO DE SUPERCARGA EM
UMA FORMAÇÃO INTERCEPTADA POR UM FURO DE SONDAGEM”

DECLARAÇÃO CONSIDERANDO PESQUISA OU
DESENVOLVIMENTO FEDERALMENTE PATROCINADO

5 Não Aplicável.

FUNDAMENTO

Durante a perfuração e conclusão de poços de petróleo e gás, pode ser necessário se envolver em operações auxiliares, tal como monitorar a operabilidade de equipamento usado durante o processo de perfuração ou
10 avaliar as capacidades de produção de formações interceptadas pelo furo de poço. Por exemplo, depois que um poço ou intervalo de poço foi perfurado, zonas de interesse são testadas freqüentemente para determinar várias propriedades de formação tais como permeabilidade, tipo de fluido, qualidade de fluido, temperatura de formação, pressão de formação, ponto de bolha,
15 gradiente de pressão de formação, mobilidade, viscosidade de filtrado, mobilidade esférica, porosidade de compressibilidade acoplada, dano pelicular (que é uma indicação de como o filtrado de lama mudou a permeabilidade perto do furo de poço), e anisotropia (que é a relação das permeabilidades vertical e horizontal). Estes testes são executados a fim de
20 determinar se exploração comercial das formações interceptadas é viável e como otimizar produção.

Testadores de formação de linha de fios (WFT) e testadores de haste de broca (DST) foram usados geralmente para executar estes testes. A ferramenta de DST básica consiste em um obturador ou obturadores, válvulas,
25 ou orifícios que podem ser abertos e fechados da superfície, e um ou mais dispositivos gravadores de pressão. A ferramenta é abaixada em uma cadeia de trabalho à zona a ser testada. O obturador ou obturadores são colocados, e fluido de perfuração é evacuado para isolar a zona da coluna de fluido de perfuração. As válvulas ou orifícios são então abertos para permitir fluxo da

formação à ferramenta para teste enquanto os registradores formam gráficos dos transientes de pressão. Uma câmara de amostragem aprisiona fluido de formação ao término do teste. WFTs empregam geralmente as mesmas técnicas de teste, mas usam uma linha de fios para abaixar a ferramenta de teste no furo de sondagem depois que a coluna de perfuração foi recuperada do furo de sondagem. O WFT tipicamente usa obturadores também, embora os obturadores tipicamente isolem uma área de furo de sondagem muito menor, comparada a DSTs, para teste de formação mais eficiente. Na maioria dos casos, o WFT não usa obturadores convencionais, mas em lugar disso dispositivos de sonda que isolam só uma pequena região circular na parede de furo de sondagem.

A montagem de sonda de WFT engata na parede de furo de sondagem e adquire amostras de fluido de formação. A montagem de sonda pode incluir um bloco de isolamento para engatar na parede de furo de sondagem. O bloco de isolamento veda contra a formação e ao redor de uma sonda oca, que coloca uma cavidade interna em comunicação fluida com a formação. Isto cria um caminho de fluido que permite a fluido de formação fluir entre a formação e o testador de formação enquanto isolado do fluido de furo de sondagem.

A fim de adquirir uma amostra útil, a sonda deve ficar isolada da pressão relativa alta do fluido de furo de sondagem. Portanto, a integridade da vedação que é formada pelo bloco de isolamento é crítica para o desempenho da ferramenta. Se o fluido de furo de sondagem for permitido vazar no fluido de formação coletado, uma amostra não representativa e medição de pressão serão obtidas e o teste terá que ser repetido.

Exemplos de blocos de isolamento e sondas usadas em WFTs podem ser achados em DT de Halliburton, SFTT, SFT4, e ferramentas de RDT. Blocos de isolamento que são usados com WFTs são tipicamente blocos de borracha anexados à extremidade da sonda de amostra alongada. A

borracha é normalmente anexada a uma placa metálica que provê suporte à borracha como também uma conexão à sonda. Estes blocos de borracha são freqüentemente moldados para se encaixar dentro do furo de diâmetro específico no qual eles estarão operando.

5 Com o uso de WFTs e DSTs, a coluna de perfuração com a ponta de broca deve ser primeiro retraída do furo de sondagem. Então, uma cadeia de trabalho separada contendo o equipamento de teste, ou, com WFTs, a cadeia de ferramenta de linha de fios, deve ser abaixada no poço para conduzir operações secundárias.

10 DSTs e WFTs também podem causar aderência de ferramenta ou dano de formação. Aderência ocorre quando o corpo da ferramenta contata o furo de sondagem por um período de tempo estendido. Uma vedação é formada e a pressão diferencial entre o furo de sondagem e a formação puxa a ferramenta em contato íntimo com a formação e causa a ferramenta ser aderida. Dano de formação ocorre devido aos períodos estendidos que o furo de sondagem está na presença de pressões hidrostáticas causando invasão de fluido de perfuração continuar. Também pode haver dificuldades de correr WFTs em poços altamente desviados e de alcance estendido. Quando seções aderentes ou estanques são encontradas, só a linha de fios pode ser usada para recuperar a ferramenta aderida. WFTs também não têm furos de fluxo para o fluxo de lama de perfuração que ajuda a prevenir aderência. WFTs também não são projetados para suportar cargas de perfuração tais como torque e peso na ponta de broca.

25 Adicionalmente, a precisão de medição de pressão de formação de testes de haste de broca e, especialmente, de testes de formação de linha de fios pode ser afetada por invasão de filtrado de lama e desenvolvimento de bolo de lama porque quantidades significantes de tempo podem ter passado antes que um DST ou WFT engate na formação depois que o furo de sondagem foi perfurado. Invasão de filtrado de lama ocorre quando

os fluidos de lama de perfuração deslocam fluido de formação. Porque o ingresso de filtrado de lama na formação começa na superfície de furo de sondagem, é mais prevalente lá e geralmente diminui adicionalmente na formação. Quando invasão de filtrado ocorre, pode se tornar impossível obter uma amostra representativa de fluido de formação ou, a um mínimo, a duração do período de amostragem deve ser aumentada para primeiro remover o fluido de perfuração e então obter uma amostra representativa de fluido de formação. Formação de bolo de lama ocorre quando quaisquer partículas sólidas no fluido de perfuração são acumuladas ao lado do furo de poço pela lama de perfuração circulante durante perfuração. Este bolo de lama ajuda a isolar e impedir a invasão. Frequentemente, o filtrado de lama leva partículas nos espaços de poro de formação, reduzindo significativamente a permeabilidade perto da superfície de furo de sondagem. Assim, pode haver um "efeito pelicular". Porque transiente de pressão dos testadores de formação pode só estender distâncias relativamente curtas na formação, a medição de permeabilidade de formação pode ser distorcida. O efeito pelicular também reduz a vazão na ferramenta por esse meio impedindo a habilidade do testador para obter uma amostra representativa de fluido de formação. Enquanto o bolo de lama também atua como uma região de permeabilidade reduzida adjacente ao furo de sondagem, é essencial reduzir invasão de filtrado. Essencialmente, o bolo de lama é a vedação primária e ajuda em obter medições de pressão de reservatório precisas e amostras de formação. Normalmente, o bolo de lama é facilmente penetrado por sondas de WFT e zonas isoladas com obturadores infláveis. Porém, a pele interna pode reduzir as habilidades do testador.

Outro aparelho de teste é a ferramenta de testador de formação enquanto perfurando (FTWD). Equipamento de teste de formação de FTWD típico é adequado para integração com uma coluna de perfuração durante operações de perfuração. Vários dispositivos ou sistemas são usados para

isolar uma formação do restante do furo de sondagem, tirando fluido da formação, e medindo propriedades físicas do fluido e da formação. Propriedades de fluido, entre outros itens, podem incluir compressibilidade de fluido, compressibilidade de fluido de linha de fluxo, densidade, viscosidade, resistividade, composição, e ponto de bolha. Por exemplo, o FTWD pode usar uma sonda semelhante a um WFT que estende à formação e uma câmara de amostra pequena para tirar fluido de formação pela sonda para testar a pressão de formação. Para executar um teste, a coluna de perfuração é parada de girar e mover axialmente e o procedimento de teste, semelhante a um WFT descrito acima, é executado.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Para uma descrição mais detalhada das concretizações, referência será feita agora aos desenhos acompanhantes seguintes:

Figura 1 é uma vista de elevação esquemática, parcialmente em seção transversal, de uma concretização do aparelho de testador de formação disposto em um poço subterrâneo;

Figuras 2A-2E são vistas de elevação esquemáticas, parcialmente em seção transversal, de porções da montagem de furo de fundo e montagem de testador de formação mostrados na Figura 1;

Figura 3 é uma vista de elevação aumentada, parcialmente em seção transversal, da porção de ferramenta de testador de formação da montagem de testador de formação mostrada na Figura 2D;

Figura 3A é uma vista de seção transversal aumentada do pistão de rebatimento e câmara mostrada na Figura 3;

Figura 3B é uma vista de seção transversal aumentada ao longo da linha 3B-3B da Figura 3;

Figura 4 é uma vista de elevação da ferramenta de testador de formação mostrada na Figura 3;

Figura 5 é uma vista de seção transversal da montagem de

sonda de formação tomada ao longo da linha 5-5 mostrada na Figura 4;

Figuras 6A-6C são vistas de seção transversal de uma porção da montagem de sonda de formação tomadas ao longo da mesma linha como visto na Figura 5, a montagem de sonda sendo mostrada em uma posição diferente em cada uma das Figuras 6A-6C;

Figura 7 é uma vista de elevação do bloco de sonda montado na saia como uma concretização preferida empregada na montagem de sonda de formação mostrada nas Figuras 4 e 5;

Figura 8 é uma vista de topo do bloco de sonda mostrada na Figura 7;

Figura 9 é uma vista de seção transversal do bloco de sonda e saia tomada ao longo da linha A-A na Figura 7;

Figura 10 é uma vista esquemática de um circuito hidráulico empregado em atuar o aparelho de testador de formação;

Figura 11 é um gráfico da pressão de fluido de formação como comparado a tempo medido durante operação do aparelho de testador;

Figura 12 é outro gráfico da pressão de fluido de formação como comparado a tempo medido durante operação do aparelho de testador e mostrando pressões medidas por transdutores de pressão diferentes empregados no testador de formação;

Figura 13 é um gráfico da distribuição de pressão de hidrostática de furo de sondagem, pelo bolo de lama, e se estendendo na formação;

Figura 14 é um gráfico da pressão de formação de face de areia e da pressão de face de areia não perturbada;

Figura 15 é um gráfico que mostra a pressão na parede de furo de sondagem com o passar do tempo;

Figura 16 é um gráfico de sensibilidade de supercarga em relação à permeabilidade de formação; e

Figura 17 mostra variações de pressão de sonda relacionadas à pressão hidrostática.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS CONCRETIZAÇÕES

Certos termos são usados ao longo da descrição seguinte e reivindicações se referem a componentes de sistema particulares. Este documento não pretende distinguir entre componentes que diferem em nome, mas não função.

Na discussão seguinte e nas reivindicações, os termos "incluindo" e "compreendendo" são usados de um modo em aberto, e assim deveriam ser interpretados significar "incluindo, mas não limitado a". Também, os termos "acoplam", "acopla" e "acoplado" usados para descrever quaisquer conexões elétricas é cada um pretendido significar ou se referir tanto a uma conexão elétrica indireta ou direta. Assim, por exemplo, se um primeiro dispositivo "acopla" ou está "acoplado" a um segundo dispositivo, que interconexão pode ser por um condutor elétrico interconectando diretamente os dois dispositivos, ou por uma conexão elétrica indireta por outros dispositivos, condutores e conexões. Adicionalmente, referência a "acima" ou "abaixo" são feitas para propósitos de facilidade de descrição com "acima" significando para a superfície do furo de sondagem e "abaixo" significado para o fundo do furo de sondagem. Além disso, na discussão e reivindicações que seguem, pode ser às vezes declarado que certos componentes ou elementos estão em comunicação fluida. Por isto é significado que os componentes são construídos e inter-relacionados tal que um fluido poderia ser comunicado entre eles, como por uma passagem, tubo ou conduto. Também, a designação "MWD" ou "LWD" é usada para significar toda medição genérica enquanto perfurando ou aparelho e sistemas de registro enquanto perfurando.

Nos desenhos e descrição que segue, mesmas partes são marcadas ao longo da especificação e desenhos com os mesmos numerais de

referência, respectivamente. As figuras de desenho não estão necessariamente em escala. Certas características da invenção podem ser mostradas exageradas em escala ou em forma um pouco esquemática e alguns detalhes de elementos convencionais podem não ser mostrados no interesse de clareza e concisão. A presente invenção é suscetível a concretizações de formas diferentes. Concretizações específicas são descritas em detalhes e são mostradas nos desenhos, com a compreensão que a presente exposição é para ser considerada uma exemplificação dos princípios da invenção, e não é pretendido limitar a invenção àquela ilustrada e descrita aqui. É para ser reconhecido completamente que os ensinamentos diferentes das concretizações discutidas abaixo podem ser empregados separadamente ou em qualquer combinação adequada para produzir resultados desejados. As várias características mencionadas acima, como também outros particulares e características descritas em mais detalhe abaixo, serão aparentes prontamente àqueles qualificados na técnica ao ler a descrição detalhada seguinte das concretizações, e se referindo aos desenhos acompanhantes.

Se referindo à Figura 1, um testador de formação de MWD 10 é ilustrado como uma parte de montagem de furo de fundo 6 (BHA) que inclui um sub de MWD 13 e uma ponta de broca 7 com sua extremidade inferior. A BHA 6 é abaixada de uma plataforma de perfuração 2, tal como um navio ou outra plataforma convencional, por uma coluna de perfuração 5. A coluna de perfuração 5 está disposta por um elevador 3 e uma cabeça de poço 4. Equipamento de perfuração convencional (não mostrado) é suportado dentro da torre de poço 1 e gira a coluna de perfuração 5 e a ponta de broca 7, fazendo a broca 7 formar um furo de sondagem 8 pelo material de formação 9. O furo de sondagem 8 penetra em zonas subterrâneas ou reservatórios, tal como um reservatório 11. Deveria ser entendido que o testador de formação 10 pode ser empregado em outras montagens de furo de fundo e com outro aparelho de perfuração em perfuração baseada em terra, como também

perfuração de alto mar como mostrado na Figura 1. Em todos os casos, além de testador de formação 10, a montagem de furo de fundo 6 pode conter vários aparelhos e sistemas convencionais, tal como um motor de broca de furo abaixo, sistema de telemetria de pulso de lama, sensores de medição
5 enquanto perfurando e sistemas, e outros bem conhecidos na técnica.

Também deveria ser entendido que, embora o testador de formação de MWD 10 seja mostrado como parte de uma coluna de perfuração 5, as concretizações da invenção descritas abaixo podem ser levadas abaixo do furo de sondagem 8 por tecnologia de linha de fios, como é descrito
10 parcialmente acima. Também deveria ser entendido que a configuração física exata do testador de formação e da montagem de sonda não é um requisito da presente invenção. A concretização descrita abaixo serve só para prover um exemplo. Exemplos adicionais de uma montagem de sonda e métodos de uso são descritos em Pedido de Patente US Serial Nº 10/440.593, depositado em
15 19 de maio de 2003, e intitulado "Method and Apparatus for MWD Formation Testing"; 10/440.835, depositado em 19 de maio de 2003 e intitulado "MWD Formation Tester"; e 10/440.637, depositado em 19 de maio de 2003 e intitulado "Equalizer Valve"; cada um incorporado por este meio aqui por referência para todos os propósitos.

20 A ferramenta de testador de formação 10 é melhor compreendida com referência às Figuras 2A-2E. Testador de formação 10 inclui geralmente um alojamento cercado pesado 12 feito de múltiplas seções de colar de broca 12a, 12b, 12c, e 12d que engatam por rosca uma na outra assim para formar o alojamento completo 12. Montagem de furo de fundo 6
25 inclui furo de fluxo 14 formado por seu comprimento inteiro para permitir passagem de fluidos de perfuração da superfície pela coluna de perfuração 5 e pela ponta de broca 7. O fluido de perfuração passa por bocais na face de ponta de broca e flui para cima por furo de sondagem 8 ao longo do anel 150 formado entre o alojamento 12 e parede de furo de sondagem 151.

Se referindo às Figuras 2A e 2B, seção superior 12a de alojamento 12 inclui extremidade superior 16 e extremidade inferior 17. Extremidade superior 16 inclui uma caixa rosqueada para conectar testador de formação 10 à cadeia de perfuração 5. Extremidade inferior 17 inclui uma
5 caixa rosqueada para receber uma extremidade de pino correspondentemente rosqueada de seção de alojamento 12b. Dispostas entre extremidades 16 e 17 em seção de alojamento 12a estão três luvas alinhadas e conectadas ou insertos tubulares 24a, b, c que cria um anel 25 entre luvas 24a, b, c e a superfície interna de seção de alojamento 12a. Anel 25 é vedado de furo de
10 fluxo 14 e provido para alojar uma pluralidade de componentes elétricos, incluindo pacotes de bateria 20, 22. Pacotes de bateria 20, 22 estão interconectados mecanicamente em conector 26. Conectores elétricos 28 são providos para interconectar pacotes de bateria 20, 22 a um barramento de energia comum (não mostrado). Em baixo de pacotes de bateria 20, 22 e
15 também disposto sobre inserto de luva 24c em anel 25 está o módulo de eletrônica 30. Módulo de eletrônica 30 inclui as várias placas de circuito, bancos de capacitores e outros componentes elétricos, incluindo os capacitores mostrados em 32. Um conector 33 é provido adjacente à extremidade superior 16 em seção de alojamento 12a para acoplar
20 eletricamente os componentes elétricos em ferramenta de testador de formação 10 com outros componentes de montagem de furo de fundo 6 que estão acima de alojamento 12.

Em baixo de módulo de eletrônica 30 em seção de alojamento 12a está um inserto de adaptador 34. Adaptador 34 conecta a inserto de luva
25 24c em conexão 35 e retém uma pluralidade de anéis de espaçador 36 em uma cavidade central 37 que forma uma porção de cavidade de fluxo 14. Extremidade inferior 17 de seção de alojamento 12a conecta à seção de alojamento 12b em conexão rosqueada 40. Espaçadores 38 estão dispostos entre a extremidade inferior de adaptador 34 e a extremidade de pino de seção

de alojamento 12b. Porque conexões rosqueadas tal como conexão 40, em vários momentos, precisam ser cortadas e consertadas, o comprimento de seções 12a, 12b pode variar em comprimento. Empregar espaçadores 36, 38 permite ajustes serem feitos no comprimento de conexão rosqueada 40.

5 Seção de alojamento 12b inclui uma luva interna 44 disposta por ela. Luva 44 se estende em seção de alojamento 12a acima, e em seção de alojamento 12c abaixo. A extremidade superior de luva 44 contata espaçadores 36 dispostos em adaptador 34 em seção de alojamento 12a. Uma área anular 42 é formada entre a luva 44 e a parede de alojamento 12b e forma
10 um caminho de fios para condutores elétricos que se estendem acima e abaixo de seção de alojamento 12b, incluindo condutores controlando a operação de testador de formação 10 como descrito abaixo.

Se referindo agora às Figuras 2B e 2C, seção de alojamento 12c inclui extremidade de caixa superior 47 e extremidade de caixa inferior
15 48 que engatam por rosca em seção de alojamento 12b e seção de alojamento 12c, respectivamente. Pelas razões previamente explicadas, espaçadores de ajuste 46 são providos em seção de alojamento 12c adjacente à extremidade 47. Como previamente descrito, luva de inserto 44 se estende em seção de alojamento 12c onde se finca em mandril interno 52. A extremidade inferior
20 de mandril interno 52 se finca na extremidade superior de mandril de testador de formação 54, que é incluído de três seções axialmente alinhadas e conectadas 54a, b, e c. Se estendendo por mandril 54 está uma porção de cavidade de fluxo desviada 14a. Desviar cavidade de fluxo 14 em caminho de cavidade de fluxo 14a provê espaço suficiente dentro de seção de alojamento
25 12c para os componentes de ferramenta de formação descritos em mais detalhes abaixo. Como melhor mostrado na Figura 2E, cavidade de fluxo desviada 14a centraliza eventualmente perto da extremidade inferior 48 de seção de alojamento 12c, mostrada geralmente em local 56. Se referindo momentaneamente à Figura 5, o perfil de seção transversal de cavidade de

fluxo desviada 14a pode ser não circular em segmento 14b, assim para prover tanto espaço quanto possível para a montagem de sonda de formação 50.

Como melhor mostrado nas Figuras 2D e 2E, dispostos sobre mandril de testador de formação 54 e dentro de seção de alojamento 12c estão motor elétrico 64, bomba hidráulica 66, coletor hidráulico 62, válvula equalizadora 60, montagem de sonda de formação 50, transdutores de pressão 160, e pistão de rebatimento 170. Acumuladores hidráulicos providos como parte do sistema hidráulico para operar montagem de sonda de formação 50 também estão dispostos sobre mandril 54 em vários locais, um tal acumulador 68 sendo mostrado na Figura 2D.

Motor elétrico 64 pode ser um motor de ímã permanente energizado por pacotes de bateria 20, 22 e bancos de capacitor 32. Motor 64 está interconectado e aciona bomba hidráulica 66. Bomba 66 provê pressão de fluido para atuar montagem de sonda de formação 50. Coletor hidráulico 62 inclui várias válvulas solenóides, válvulas de retenção, filtros, válvulas de alívio de pressão, válvulas de alívio térmicas, transdutor de pressão 160b e circuitagem hidráulica empregada em atuar e controlar a montagem de sonda de formação 50 como explicado em mais detalhe abaixo.

Se referindo novamente à Figura 2C, o mandril 52 inclui um segmento central 71. Disposto sobre segmento 71 de mandril 52 estão pistão de equilíbrio de pressão 70 e mola 76. Mandril 52 inclui uma extensão de parada de mola 77 na extremidade superior de segmento 71. Anel de parada 88 é rosqueado a mandril 52 e inclui um ombro de parada de pistão 80 para engatar em ombro anular correspondente 73 formado em pistão de equilíbrio de pressão 70. Pistão de equilíbrio de pressão 70 adicionalmente inclui uma vedação anular deslizante ou barreira 69. Barreira 69 consiste em uma pluralidade de anéis O internos e externos e vedações de lábio axialmente dispostas ao longo do comprimento de pistão 70.

Embaixo de pistão 70 e se estendendo abaixo de mandril

interno 52 está uma câmara de óleo inferior ou reservatório 78, descrito mais completamente abaixo. Uma câmara superior 72 é formada no anel entre porção central 71 de mandril 52 e a parede de seção de alojamento 12c, e entre porção de parada de mola 77 e pistão de equilíbrio de pressão 70. Mola 5 76 é retida dentro de câmara 72. Câmara 72 é aberta por orifício 74 a anel 150. Como tal, fluidos de perfuração encherão a câmara 72 em operação. Uma vedação anular 67 está disposta sobre porção de parada de mola 77 para prevenir fluido de perfuração de migrar acima de câmara 72.

Barreira 69 mantém uma vedação entre o fluido de perfuração 10 em câmara 72 e o óleo hidráulico que enche e é contido em reservatório de óleo 78 em baixo de pistão 70. Câmara inferior 78 se estende de barreira 69 à vedação 65 localizada em um ponto geralmente denotado como 83 e logo acima de transdutores 160 na Figura 2E. O óleo em reservatório 78 enche completamente todo o espaço entre seção de alojamento 12c e mandril de 15 testador de formação 54. O óleo hidráulico em câmara 78 pode ser mantido em pressão ligeiramente maior do que a pressão hidrostática do fluido de perfuração em anel 150. A pressão de anel é aplicada a pistão 70 por fluido de perfuração entrando em câmara 72 por orifício 74. Porque câmara de óleo inferior 78 é um sistema fechado, a pressão de anel que é aplicada por pistão 20 70 é aplicada à câmara 78 inteira. Adicionalmente, a mola 76 provê uma pressão ligeiramente maior ao sistema de óleo fechado 78 tal que a pressão em câmara de óleo 78 seja substancialmente igual à pressão de fluido de anel mais a pressão adicionada pela força de mola. Esta pressão de óleo ligeiramente maior é desejável assim para manter pressão positiva em todas as 25 vedações em câmara de óleo 78. Tendo estas duas pressões geralmente equilibradas (embora a pressão de óleo seja ligeiramente mais alta) é mais fácil manter do que se houvesse um diferencial de pressão grande entre o óleo hidráulico e o fluido de perfuração. Entre barreira 69 em pistão 70 e ponto 83, o óleo hidráulico enche todo o espaço entre o diâmetro externo de mandris 52,

54 e o diâmetro interior de seção de alojamento 12c, esta região sendo marcada como distância 82 entre pontos 81 e 83. O óleo em reservatório 78 é empregado no circuito hidráulico 200 (Figura 10) usado para operar e controlar a montagem de sonda de formação 50 como descrito em mais detalhe abaixo.

Válvula equalizadora 60, melhor mostrada na Figura 3, está disposta em mandril de testador de formação 54b entre coletor hidráulico 62 e montagem de sonda de formação 50. Válvula equalizadora 60 está em comunicação fluida com passagem hidráulica 85 e com passagem de fluido longitudinal 93 formada em mandril 54b. Antes de atuar a montagem de sonda de formação 50 assim para testar a formação, fluido de perfuração enche as passagens 85 e 93 quando a válvula 60 está normalmente aberta e se comunica com anel 150 por orifício 84 na parede de seção de alojamento 12c. Quando os fluidos de formação estão sendo amostrados por montagem de sonda de formação 50, a válvula 60 fecha a passagem 85 para prevenir fluidos de perfuração de anel 150 entrarem em passagem 85 ou passagem 93. Uma válvula particularmente bem adequada para uso nesta aplicação é a válvula descrita no Pedido de Patente US N° 10/440.637, depositado em 19 de maio de 2003 e intitulado "Equalizer Valve", incorporado por este meio aqui por referência para todos os propósitos.

Como mostrado nas Figuras 3 e 4, seção de alojamento 12c inclui uma porção rebaixada 135 adjacente à montagem de sonda de formação 50 e válvula equalizadora 60. A porção rebaixada 135 inclui uma superfície planar ou "plano" 136. Os orifícios pelos quais fluidos podem passar em válvula equalizadora 60 e montagem de sonda 50 se estendem por plano 136. Desta maneira, quando a coluna de perfuração 5 e testador de formação 10 são girados no furo de sondagem, a montagem de sonda de formação 50 e válvula equalizadora 60 são protegidos melhor de impacto, abrasão e outras forças. Plano 136 é rebaixado pelo menos 6,3 mm e pode estar pelo menos

12,7 mm do diâmetro exterior de seção de alojamento 12c. Planos semelhantes 137, 138 também são formados sobre seção de alojamento 12c geralmente na mesma posição axial como plano 136 para aumentar a área de fluxo para fluido de perfuração no anel 150 de furo de sondagem 8.

5 Disposto sobre seção de alojamento 12c adjacente à montagem de sonda de formação 50 está estabilizador 154. Estabilizador 154 pode ter um diâmetro exterior perto daquele de tamanho de furo de sondagem nominal. Como explicado abaixo, a montagem de sonda de formação 50 inclui um bloco de vedação 140 que é prolongável a uma posição fora de alojamento 10 12c para engatar na parede de furo de sondagem 151. Como explicado, a montagem de sonda 50 e bloco de vedação 140 de montagem de sonda de formação 50 são rebaixados do diâmetro exterior de seção de alojamento 12c, mas eles são caso contrário expostos ao ambiente de anel 150, onde eles poderiam ser impressados pela parede de furo de sondagem 151 durante 15 perfuração ou durante inserção ou recuperação de montagem de furo de fundo 6. Por conseguinte, estando posicionado adjacente à montagem de sonda de formação 50, o estabilizador 154 provê proteção adicional ao bloco de vedação 140 durante inserção, recuperação e operação de montagem de furo de fundo 6. Também provê proteção aa bloco 140 durante operação de 20 testador de formação 10. Em operação, um pistão estende o bloco de vedação 140 a uma posição onde engata na parede de furo de sondagem 151. A força do bloco 140 contra a parede de furo de sondagem 151 tenderia a mover o testador de formação 10 no furo de sondagem, e tal movimento poderia causar bloco 140 se tornar danificado. Porém, quando testador de formação 10 se 25 move lateralmente dentro do furo de sondagem quando o pistão é estendido em engate com a parede de furo de sondagem 151, o estabilizador 154 engata na parede de furo de sondagem e provê uma força reativa para se opor à força aplicada ao pistão pela formação. Desta maneira, movimento adicional da ferramenta de teste de formação 10 é resistido.

Se referindo à Figura 2E, mandril 54c contém câmara 63 para
alojar transdutores de pressão 160 a, c, e d como também eletrônica para
acionar e ler estes transdutores de pressão. Além disso, a eletrônica em
câmara 63 contém memória, um microprocessador, e circuitagem de
5 conversão de potência para utilizar corretamente energia de barramento de
potência 700.

Ainda se referindo à Figura 2E, seção de alojamento 12d inclui
extremidades de pino 86, 87. Extremidade inferior 48 de seção de alojamento
12c engata por rosca em extremidade superior 86 de seção de alojamento 12d.
10 Em baixo de seção de alojamento 12d e entre a ferramenta de testador de
formação 10 e ponta de broca 7 estão outras seções da montagem de furo de
fundo 6 que constituem ferramentas de MWD convencionais, geralmente
mostradas na Figura 1 como sub MWD 13. Em um sentido geral, seção de
alojamento 12d é um adaptador usado para transição da extremidade inferior
15 de ferramenta de testador de formação 10 ao restante da montagem de furo de
fundo 6. A extremidade inferior 87 de seção de alojamento 12d engata por
rosca em outras sub-montagens incluídas em montagem de furo de fundo 6
em baixo de ferramenta de testador de formação 10. Como mostrado,
cavidade de fluxo 14 se estende por seção de alojamento 12d a tais sub-
20 montagens inferiores e finalmente à ponta de broca 7.

Se referindo novamente à Figura 3 e à Figura 3A, pistão de
rebatimento 170 é retido em coletor de rebatimento 89, que está montado em
mandril de testador de formação 54b dentro de alojamento 12c. Pistão 170
inclui vedação anular 171 e é recebido de modo deslizante em cilindro 172.
25 Mola 173 impele pistão 170 para sua posição mais alta ou protegida como
mostrado na Figura 3A. Linhas hidráulicas separadas (não mostradas)
interconectam com cilindro 172 acima e abaixo de pistão 170 em porções
172a, 172b para mover pistão 170 tanto para cima ou para baixo dentro de
cilindro 172 como descrito mais completamente abaixo. Um êmbolo 174 é

integral e se estende de pistão 170. Êmbolo 174 está disposto de modo deslizante em cilindro 177 coaxial com 172. Cilindro 175 é a porção superior de cilindro 177 que está em comunicação fluida com a passagem longitudinal 93 como mostrado na Figura 3A. Cilindro 175 é inundado com fluido de perfuração por sua interconexão com passagem 93. Cilindro 177 é enchido com fluido hidráulico em baixo de vedação 166 por sua interconexão com circuito hidráulico 200. Êmbolo 174 também contém raspador 167 que protege vedação 166 de escombros no fluido de perfuração. Raspador 167 pode ser uma vedação de lábio energizada por anel O.

Como melhor mostrado na Figura 5, a montagem de sonda de formação 50 geralmente inclui haste 92, uma luva de adaptador geralmente cilíndrica 94, pistão 96 adaptado para alternar dentro de luva de adaptador 94, e uma montagem de snorkel 98 adaptada para movimento recíproco dentro de pistão 96. Seção de alojamento 12c e mandril de testador de formação 54b incluem aberturas alinhadas 90a, 90b, respectivamente, que juntas formam a abertura 90 para receber montagem de sonda de formação 50.

Haste 92 inclui uma porção de base circular 105 com um flange exterior 106. Se estendendo de base 105 está uma extensão tubular 107 tendo passagem central 108. A extremidade de extensão 107 inclui roscas internas em 109. Passagem central 108 está em conexão fluida com passagem de fluido 91 que, por sua vez, está em comunicação fluida com câmara de fluido longitudinal ou passagem 93, melhor mostrada na Figura 3.

Luva de adaptador 94 inclui extremidade interna 111 que engata em flange 106 de número de haste 92. Luva de adaptador 94 está presa dentro de abertura 90 por engate rosqueado com mandril 54b em segmento 110. A extremidade exterior 112 de luva de adaptador 94 se estende para estar substancialmente nivelada com plano 136 formado em membro de alojamento 12c. Espaçada circunferencialmente sobre a superfície mais externa de luva de adaptador 94 está uma pluralidade de rebaixos de engate de ferramenta

158. Estes rebaixos são empregados para rosquear o adaptador 94 dentro e fora de engate com mandril 54b. Luva de adaptador 94 inclui superfície interna cilíndrica 113 tendo porções de diâmetro reduzido 114, 115. Uma vedação de 116 está disposta em superfície 114. Pistão 96 está retido de modo deslizando dentro de luva de adaptador 94 e inclui geralmente seção de base 118 e uma porção alongada 119 que inclui superfície cilíndrica interna 120. Pistão 96 adicionalmente inclui a cavidade central 121.

Snorkel 98 inclui uma porção de base 125, uma extensão de snorkel 126, e uma passagem central 127 se estendendo por base 125 e extensão 126.

Aparelho de testador de formação 50 é montado tal que base de pistão 118 seja permitida alternar ao longo de superfície 113 de luva de adaptador 94. Semelhantemente, base de snorkel 125 está disposta dentro de pistão 96 e extensão de snorkel 126 é adaptada para movimento recíproco ao longo de superfície de pistão 120. Passagem central 127 de snorkel 98 está alinhada axialmente com extensão tubular 107 de haste 92 e com tela 100.

Se referindo às Figuras 5 e 6C, tela 100 é um membro geralmente tubular tendo uma cavidade central 132 se estendendo entre uma extremidade de entrada de fluido 131 e extremidade de saída 122. Extremidade de saída 122 inclui uma abertura central 123 que está disposta sobre a extensão de haste 107. Tela 100 adicionalmente inclui um flange 130 adjacente à extremidade de entrada de fluido 131 e um segmento internamente fendido 133 tendo fendas 134. Aberturas 129 são formadas em tela 100 adjacentes à extremidade 122. Entre segmento fendido 133 e aberturas 129, tela 100 inclui segmento rosqueado 124 para engatar por rosca extensão de snorkel 126.

Raspador 102 inclui uma cavidade central 103, extensão rosqueada 104 e aberturas 101 que estão em comunicação fluida com cavidade central 103. Seção 104 engata por rosca em seção internamente

rosqueada 109 de extensão de haste 107, e está disposta dentro de cavidade central 132 de tela 100.

Se referindo agora às Figuras 5-9, o bloco de vedação 140 pode ser geralmente em forma toroidal tendo superfície de base 141, uma
5 superfície de vedação oposta 142 para vedar contra a parede de furo de sondagem, uma superfície de borda circunferencial 143 e uma abertura central 144. Na concretização mostrada, a superfície de base 141 é geralmente plana e é unida a uma saia de metal 145. Bloco de vedação 140 veda e previne fluido de perfuração de entrar na montagem de sonda 50 durante teste de
10 formação assim para habilitar a transdutores de pressão 160 medirem a pressão do fluido de formação. Mudanças em pressão de fluido de formação com o passar do tempo provêm uma indicação da permeabilidade da formação 9. Mais especificamente, bloco de vedação 140 veda contra o bolo de lama 49 que se forma na parede de furo de sondagem 151. Tipicamente, a
15 pressão do fluido de formação é menos do que a pressão dos fluidos de perfuração que são injetados no furo de sondagem. Uma camada de resíduo do fluido de perfuração forma um bolo de lama 49 na parede de furo de sondagem e separa as duas áreas de pressão. Bloco 140, quando estendido, conforma sua forma à parede de furo de sondagem e, junto com o bolo de
20 lama 49, forma uma vedação pela qual fluidos de formação podem ser coletados.

Como melhor mostrado nas Figuras 3, 5 e 6, bloco 140 é dimensionado de forma que possa ser retraído completamente dentro de abertura 90. Nesta posição, bloco 140 é protegido ambos por plano 136 que
25 cerca a abertura 90 e por rebaixo 135 que posiciona a face 136 em uma posição de retrocesso com respeito à superfície externa de alojamento 12.

Bloco 140 pode ser feito de um material elastomérico tendo uma característica de alto alongamento. Ao mesmo tempo, o material pode possuir características de resistência a desgaste e relativamente duro. Mais

particularmente, o material pode ter um alongamento % igual a pelo menos 200% e até mesmo mais que 300%. Um tal material útil nesta aplicação é Borracha de Butadieno de Nitrila Hidrogenado (HNBR). Um material achado particularmente útil para bloco 140 é número de composto de HNBR 372
5 provido por Eutsler Produtos Técnicos de Houston, TX, tendo uma dureza de durômetro de 85 Shore A e um alongamento percentual de 370% à temperatura ambiente.

Um possível perfil para bloco 140 é mostrado nas Figuras 7-9. Superfície de vedação 142 de bloco 140 geralmente inclui uma superfície
10 esférica 162 e superfície de raio 164. Superfície esférica 162 começa em borda 143 e se estende a ponto 163 onde a superfície esférica 162 se funde e assim se torna uma parte de superfície de raio 164. Superfície de raio 164 se curva em abertura central 144, que passa pelo centro do bloco 140. Na concretização mostrada nas Figuras 7-9, o bloco 140 inclui um diâmetro
15 global de 5,7 cm com o diâmetro de abertura central 144 sendo igual a 1,9 cm. Superfície de raio 164 tem um raio de 0,63 cm, e superfície esférica 162 tem um raio esférico igual a 10,8 cm. A altura do perfil de bloco 140 é 1,34 cm em seu ponto mais grosso.

Se referindo novamente às Figuras 7-9, quando bloco 140 é
20 comprimido, ele pode extrusar nos rebaixos 152 em saia 145. Os cantos 2008 dos rebaixos 152 podem danificar o bloco, resultando em falha prematura. Uma característica de recorte 1000 mostrada nas Figuras 7 e 9 é cortada no bloco para dar espaço entre o bloco elastomérico 140 e os rebaixos 152.

Como melhor mostrado nas Figuras 7 e 9, a saia 145 inclui
25 uma extensão 146 para engatar por rosca em porção alongada 119 de pistão 96 (Figura 5) em segmento rosqueado 147 (Figuras 7 e 9). Saia 145 também pode incluir sulco de rabo-de-andorinha 149a como mostrado na Figura 9. Quando moldado, o elastômero enche o sulco de rabo-de-andorinha. O sulco atua para reter o elastômero no evento de desunião entre a saia de metal 145 e

o bloco 140. Quando moldado, o elastômero enche os escareados. Como mostrado na Figura 5, extensão de snorkel 126 suporta a abertura central 144 de bloco 140 (Figura 7) para reduzir a extrusão do elastômero quando é apertado contra a parede de furo de sondagem durante um teste de formação.

- 5 Reduzir extrusão do elastômero ajuda a assegurar uma boa vedação de bloco, especialmente contra a alta pressão diferencial vista pelo bloco durante um teste de formação.

Para ajudar com uma boa vedação de bloco, ferramenta 10 pode incluir, entre outras coisas, centralizadores para centralizar a montagem de sonda de formação 50 e por esse meio normalizar o bloco 140 relativo à
10 parede de furo de sondagem. Por exemplo, o testador de formação pode incluir pistões centralizadores acoplados a um circuito de fluido hidráulico configurado para estender os pistões de tal modo a proteger a montagem de sonda e bloco, e também para prover uma boa vedação de bloco. Um testador
15 de formação incluindo tais dispositivos é descrito no Pedido de Patente US Serial N° 10/440.593, depositado em 19 de maio de 2003 e intitulado "Method and Apparatus for MWD Formation Testing", incorporado por este meio aqui por referência para todos os propósitos.

O circuito hidráulico 200 usado para operar a montagem de sonda 50, válvula equalizadora 60, e pistão de rebatimento 170 é ilustrado na
20 Figura 10. Um controlador baseado em microprocessador 190 é acoplado eletricamente a todos os elementos controlados no circuito hidráulico 200 ilustrado na Figura 10, embora as conexões elétricas a tais elementos sejam convencionais e não são ilustradas diferente de esquematicamente.
25 Controlador 190 está localizado em módulo de eletrônica 30 em seção de alojamento 12a, embora poderia estar alojado em outro lugar em montagem de furo de fundo 6. Controlador 190 detecta os sinais de controle transmitidos de um controlador mestre (não mostrado) alojado no sub de MWD 13 da montagem de furo de fundo 6 que, por sua vez, recebe instruções transmitidas

da superfície por telemetria de pulso de lama, ou qualquer de vários outros meios convencionais para transmitir sinais para ferramentas de furo abaixo.

Controlador 190 recebe um comando para iniciar teste de formação. Este comando pode ser recebido quando a coluna de perfuração está girando ou deslizando ou caso contrário se movendo; porém, a coluna de perfuração deve estar estacionária durante um teste de formação. Como
5 mostrado na Figura 10, motor 64 está acoplado à bomba 66 que tira fluido hidráulico fora de reservatório hidráulico 78 por um filtro 79 utilizável. Como será entendido, a bomba 66 dirige fluido hidráulico em circuito hidráulico 200
10 que inclui a montagem de sonda de formação 50, válvula equalizadora 60, pistão de rebatimento 170 e válvulas solenóides 176, 178, 180.

A operação de testador de formação 10 é melhor compreendida em referência à Figura 10 junto com as Figuras 3A, 5 e 6A-C. Em resposta a um sinal de controle elétrico, o controlador 190 energiza a
15 válvula solenóide 180 e inicia motor 64. Bomba 66 então começa a pressurizar o circuito hidráulico 200 e, mais particularmente, carrega o acumulador de retração de sonda 182. O ato de carregar o acumulador 182 também assegura que a montagem de sonda 50 seja retraída e que o pistão de rebatimento 170 esteja em sua posição rebaixada inicial como mostrado na
20 Figura 3A. Quando a pressão em sistema 200 alcança um valor predeterminado, tal como 12,4 MPa como sentido por transdutor de pressão 160b, o controlador 190 (que monitora continuamente a pressão no sistema) energiza a válvula solenóide 176 e desenergiza a válvula solenóide 180, que
25 causa o pistão de sonda 96 e snorkel 98 começarem a se estender para a parede de furo de sondagem 151. Simultaneamente, a válvula de retenção 194 e válvula de alívio 193 vedam o acumulador de retração de sonda 182 a uma carga de pressão entre aproximadamente 3,4 MPa a 8,6 MPa. Pistão 96 e snorkel 98 se estendem da posição mostrada na Figura 6A àquela mostrada na Figura 6B, onde o bloco 140 engata no bolo de lama 49 em parede de furo de

sondagem 151. Com pressão hidráulica continuada a ser provida ao lado alongado do pistão 96 e snorkel 98, o snorkel então penetra no bolo de lama como mostrado na Figura 6C. Há duas posições expandidas de snorkel 98, geralmente mostradas nas Figuras 6B e 6C. O pistão 96 e snorkel 98 se movem exteriormente juntos até que o bloco 140 engate na parede de furo de sondagem 151. Este movimento combinado continua até que a força da parede de furo de sondagem contra o bloco 140 alcance uma magnitude predeterminada, por exemplo 2.491 kg_f, causando o bloco 140 ser apertado. Neste momento, uma segunda fase de expansão acontece com snorkel 98 então se movendo dentro do cilindro 120 em pistão 96 para penetrar no bolo de lama 49 na parede de furo de sondagem 151 e para receber fluidos de formação.

Em um método, quando bloco de vedação 140 é apertado contra a parede de furo de sondagem, a pressão em circuito 200 se eleva e quando alcança uma pressão predeterminada, a válvula 192 se abre assim para fechar a válvula equalizadora 60, por esse meio isolando a passagem de fluido 93 do anel. Desta maneira, a válvula 192 assegura que válvula 60 só feche depois que o bloco de vedação 140 tenha entrado em contato com o bolo de lama 49 que reveste a parede de furo de sondagem 151. Em outro método, quando o bloco de vedação 140 é apertado contra a parede de furo de sondagem 151 a pressão em circuito 200 se eleva e fecha a válvula equalizadora 60, por esse meio isolando a passagem de fluido 93 do anel. Desta maneira, a válvula 60 pode fechar antes que o bloco de vedação 140 tenha entrado em contato com o bolo de lama 49 que reveste a parede de furo de sondagem 151. Passagem 93, agora fechada ao anel 150, está em comunicação fluida com cilindro 175 na extremidade superior de cilindro 177 em coletor de rebatimento 89, melhor mostrado na Figura 3A.

Com a válvula solenóide 176 ainda energizada, o acumulador de vedação de sonda 184 é carregado até que o sistema alcance uma pressão

predeterminada, por exemplo 12,4 MPa, como sentido por transdutor de pressão 160b. Quando essa pressão é alcançada, um atraso pode ocorrer antes que o controlador 190 energize a válvula solenóide 178 para começar rebatimento. Este atraso, que é controlável, pode ser usado para medir as propriedades do bolo de lama 49 que reveste a parede de furo de sondagem 151. Energizar a válvula solenóide 178 permite a fluido pressurizado entrar em porção 172a de cilindro 172 causando o pistão de rebatimento 170 se retrain. Quando isso ocorre, o êmbolo 174 se move dentro de cilindro 177 tal que o volume de passagem de fluido 93 aumente pelo volume da área do êmbolo 174 vezes o comprimento de seu curso ao longo de cilindro 177. Este movimento aumenta o volume de cilindro 175, por esse meio aumentando o volume de passagem de fluido 93. Por exemplo, o volume de passagem de fluido 93 pode ser aumentado por 10 cm^3 como resultado de pistão 170 ser retraído.

Quando pistão de rebatimento 170 é atuado, fluido de formação pode assim ser tirado por passagem central 127 de snorkel 98 e por tela 100. O movimento de pistão de rebatimento 170 dentro de seu cilindro 172 abaixa a pressão em passagem fechada 93 a uma pressão abaixo da pressão de formação, tal que fluido de formação seja tirado por tela 100 e snorkel 98 em abertura 101, então por passagem de haste 108 para passagem 91, que está em comunicação fluida com passagem 93 e parte do mesmo sistema de fluido fechado. No total, câmaras de fluido 93 (que incluem o volume de várias passagens de fluido interconectadas, incluindo passagens em montagem de sonda 50, passagens 85, 93 (Figura 3), as passagens interconectando 93 com pistão de rebatimento 170 e transdutores de pressão 160a, c) pode ter um volume de aproximadamente 40cc. Lama de perfuração em anel 150 não é tirada em snorkel 98 porque bloco 140 veda contra o bolo de lama. Snorkel 98 serve como um conduto pelo qual o fluido de formação pode passar e a pressão do fluido de formação pode ser medida em passagem

93 enquanto o bloco 140 serve como uma vedação para impedir fluidos anulares de entrarem no snorkel 98 e invalidar a medição de pressão de formação.

Se referindo momentaneamente às Figuras 5 e 6C, fluido de formação é tirado primeiro na cavidade central 132 de tela 100. Então passa pelas fendas 134 em segmento fendido de tela 133 tal que partículas no fluido sejam filtradas do fluxo e não sejam tiradas em passagem 93. O fluido de formação então passa entre a superfície exterior de tela 100 e a superfície interna de extensão de snorkel 126, onde a seguir passa por aberturas 123 em tela 100 e na passagem central 108 de haste 92 passando por aberturas 101 e cavidade de passagem central 103 de raspador 102.

Se referindo novamente à Figura 10, com bloco de vedação 140 vedado contra a parede de furo de sondagem, a válvula de retenção 195 mantém a pressão desejada atuando contra o pistão 96 e snorkel 98 para manter a vedação correta de bloco 140. Adicionalmente, porque o acumulador de vedação de sonda 184 está carregado completamente, se a ferramenta 10 se mover durante rebatimento, volume de fluido hidráulico adicional pode ser provido a pistão 96 e snorkel 98 para assegurar que o bloco 140 permaneça vedado de forma estanque contra a parede de furo de sondagem. Além disso, se a parede de furo de sondagem 151 se mover na vizinhança de bloco 140, o acumulador de vedação de sonda 184 proverá volume de fluido hidráulico adicional a pistão 96 e snorkel 98 para assegurar que o bloco 140 permaneça vedado de forma estanque contra a parede de furo de sondagem 151. Sem o acumulador 184 em circuito 200, o movimento da ferramenta 10 ou parede de furo de sondagem 151, e assim de montagem de sonda de formação 50, poderia resultar em uma perda de vedação em bloco 140 e uma falha do teste de formação.

Com o pistão de rebatimento 170 em sua posição completamente retraída e fluido de formação tirado em sistema fechado 93, a

pressão se estabilizará e habilitará a transdutores de pressão 160a, c sentirem e medirem a pressão de fluido de formação. A pressão medida é transmitida ao controlador 190 na seção de eletrônica, onde a informação é armazenada em memória e, alternativamente ou adicionalmente, é comunicada ao controlador mestre na ferramenta de MWD 13 abaixo de testador de formação 10, onde pode ser transmitida à superfície por telemetria de pulso de lama ou por qualquer outro meio de telemetria convencional.

Quando rebatimento é completado, o pistão 170 atua uma chave de contato 320 montada em tampa de ponta 400 e pistão 170, como mostrado na Figura 3A. A montagem de chave de rebatimento consiste em contato 300, fio 308 acoplado a contato 300, êmbolo 302, mola 304, mola de terra 306, e anel de retentor 310. Pistão 170 atua a chave 320 fazendo o êmbolo 302 engatar em contato 300, que faz o fio 308 acoplar o terra de sistema por contato 300 a êmbolo 302 para mola de terra 306 a pistão 170 à tampa de ponta 400, que está em comunicação com terra de sistema (não mostrado).

Quando a chave de contato 320 é atuada, o controlador 190 responde desativando o motor 64 e bomba 66 para conservação de energia. Válvula de retenção 196 aprisiona a pressão hidráulica e mantém o pistão 170 em sua posição retraída. No evento de qualquer vazamento de fluido hidráulico que poderia permitir a pistão 170 começar a se mover para sua posição rebaixada original, o acumulador de rebatimento 186 proverá o volume de fluido necessário para compensar qualquer tal vazamento e por esse meio manter força suficiente para reter o pistão 170 em sua posição retraída.

Durante este intervalo, o controlador 190 monitora continuamente a pressão em passagem de fluido 93 por transdutores de pressão 160a, c até que a pressão estabilize, ou depois de um intervalo de tempo predeterminado.

Quando a pressão medida estabiliza, ou depois de um intervalo de tempo predeterminado, o controlador 190 desenergiza a válvula solenóide 176. Desenergizar a válvula solenóide 176 remove a pressão do lado perto de válvula equalizadora 60 e do lado estendido de pistão de sonda 96. Mola 58 então retorna a válvula equalizadora 60 a seu estado normalmente aberto e acumulador de retração de sonda 182 causará o pistão 96 e snorkel 98 se retraírem, tal que o bloco de vedação 140 se torne desengatado com a parede de furo de sondagem. Depois disso, o controlador 190 energiza novamente o motor 64 para acionar a bomba 66 e energiza novamente a válvula solenóide 180. Esta etapa assegura que pistão 96 e snorkel 98 se retraíram completamente e que a válvula equalizadora 60 seja aberta. Dado este arranjo, a ferramenta de formação 10 tem um mecanismo de retração de sonda redundante. Força de retração ativa é provida pela bomba 66. Uma força de retração passiva é provida por acumulador de retração de sonda 182, que é capaz de retrain a sonda até mesmo no evento que potência seja perdida. Acumulador 182 pode ser carregado na superfície antes de ser empregado furo abaixo para prover pressão para reter o pistão e snorkel em alojamento 12c.

Se referindo novamente às Figuras 5 e 6 brevemente, quando o pistão 96 e snorkel 98 são retraídos de sua posição mostrada na Figura 6C àquela da Figura 6B, a tela 100 é puxada de volta em snorkel 98. Quando isto ocorre, o flange na borda exterior de raspador 102 arrasta e por esse meio raspa a superfície interna de membro de tela 100. Desta maneira, material escondido do fluido de formação em sua entrada de tela 100 e snorkel 98 é removido de tela 100 e depositado no anel 150. Semelhantemente, o raspador 102 raspa a superfície interna de membro de tela 100 quando snorkel 98 e tela 100 são estendidos para a parede de furo de sondagem.

Depois de uma pressão predeterminada, por exemplo 12,4 MPa, é sentida por transdutor de pressão 160b e comunicada a controlador

190 (indicando que a válvula equalizadora está aberta e que o pistão e snorkel estão retraídos completamente), o controlador 190 desenergiza a válvula solenóide 178 para remover pressão de lado 172a de pistão de rebatimento 170. Com a válvula solenóide 180 permanecendo energizada, pressão positiva
 5 é aplicada a lado 172b de pistão de rebatimento 170 para assegurar que pistão 170 seja retornado à sua posição original (como mostrado na Figura 3). Controlador 190 monitora a pressão por transdutor de pressão 160b e quando uma pressão predeterminada é alcançada, o controlador 190 determina que o pistão 170 está retornado completamente e desativa motor 64 e bomba 66 e
 10 desenergiza a válvula solenóide 180. Com todas as válvula solenóides 176, 178, 180 retornadas à sua posição original e com o motor 64 desligado, a ferramenta 10 está de volta em sua condição original e perfuração pode ser começada novamente.

Válvula de alívio 197 protege o sistema hidráulico 200 de
 15 sobre-pressão e transientes de pressão. Várias válvulas de alívio adicionais podem ser providas. Válvula de alívio térmica 198 protege seções de pressão aprisionada de sobre-pressão. Válvula de retenção 199 previne fluxo de retorno pela bomba 66.

Figura 11 ilustra um gráfico de pressão contra tempo
 20 ilustrando de um modo geral a pressão sentida por transdutor de pressão 160a, c durante a operação de testador de formação 10. Quando o fluido de formação é tirado dentro do testador, as leituras de pressão são levadas continuamente por transdutor 160a, c. A pressão sentida será inicialmente igual à pressão de anel mostrada em ponto 201. Quando bloco 140 é estendido
 25 e válvula equalizadora 60 é fechada, haverá um leve aumento em pressão como mostrado em 202. Isto ocorre quando o bloco 140 veda contra a parede de furo de sondagem 151 e aperta o fluido de perfuração aprisionado na passagem 93 agora isolada. Quando pistão de rebatimento 170 é atuado, o volume da câmara fechada 93 aumenta, fazendo a pressão diminuir como

mostrado na região 203. Isto é conhecido como o rebatimento de pré-teste. A combinação da vazão e ID de snorkel determina uma gama efetiva de operação. Quando o pistão de rebatimento afunda dentro de cilindro 172, uma pressão diferencial com o fluido de formação existe fazendo o fluido na
5 formação se mover para a área de baixa pressão e, portanto, fazendo a pressão se desenvolver com o passar do tempo como mostrado na região 204. A pressão começa a se estabilizar, e em ponto 205, alcança a pressão do fluido de formação na zona sendo testada na parede de furo de sondagem. Depois de um tempo fixo, tal como três minutos depois, a extremidade do fim de região
10 203, a válvula equalizadora 60 é aberta novamente, e a pressão dentro de câmara 93 se equaliza de volta à pressão de anel como mostrado em 206.

Se referindo novamente à Figura 10, a ferramenta de teste de formação 10 pode incluir quatro transdutores de pressão 160: dois medidores de cristal de quartzo 160a, 160d, um medidor de tensão 160c, e um medidor
15 de tensão diferencial 160b. Um dos medidores de cristal de quartzo 160a está em comunicação com a lama de anel e também sente pressões de formação durante o teste de formação. O outro medidor de cristal de quartzo 160d está em comunicação com a cavidade de fluxo 14 a qualquer momento. Além disso, ambos os medidores de cristal de quartzo 160a e 160d podem ter
20 sensores de temperatura associados com os cristais. Os sensores de temperatura podem ser usados para compensar a medição de pressão por efeitos térmicos. Os sensores de temperatura também podem ser usados para medir a temperatura dos fluidos perto dos transdutores de pressão. Por exemplo, o sensor de temperatura associado com o medidor de cristal de
25 quartzo 160a é usado para medir a temperatura do fluido perto do medidor em câmara 93. O terceiro transdutor é um medidor de tensão 160c e está em comunicação com a lama de anel e também sente pressões de formação durante o teste de formação. Os transdutores de quartzo 160a, d provêm informação de pressão precisa de estado estável, enquanto o medidor de

tensão 160c provê resposta a transiente mais rápida. Ao executar a sequência durante o teste de formação, a câmara 93 é fechada e ambos o medidor de quartzo de anel 160a e o medidor de tensão 160c medem a pressão dentro da câmara fechada 93. O transdutor de medidor de tensão 160c é usado
 5 essencialmente para completar as medições de medidor de quartzo 160a. Quando o testador de formação 10 não está em uso, os transdutores de quartzo 160a, d podem medir operativamente pressão enquanto perfurando para servir como uma ferramenta de pressão enquanto perfurando.

Figura 12 ilustra curvas de pressão de teste de formação
 10 representativas. A curva sólida 220 representa leituras de pressão P_{sg} detectadas e transmitidas pelo medidor de tensão 160c. Semelhantemente, a pressão P_q , indicada pelo medidor de quartzo 160a, é mostrada como uma linha tracejada 222. Como notado acima, transdutores de medidor de tensão
 15 geralmente não oferecem a precisão exibida por transdutores de quartzo e transdutores de quartzo não provêem a resposta transiente oferecida por transdutores de medidor de tensão. Conseqüentemente, as pressões de teste de formação instantâneas indicadas pelo medidor de tensão 160c e transdutores de quartzo 160a são prováveis serem diferentes. Por exemplo, ao começo de
 20 um teste de formação, as leituras de pressão P_{hyd} indicadas pelo transdutor de quartzo P_q e pelo transdutor de medidor de tensão P_{sg} são diferentes e a diferença entre estes valores é indicada como E_{offsl} na Figura 12.

Com a suposição que a leitura de medidor de quartzo P_q é a mais precisa das duas leituras, as pressões de teste de formação atuais podem ser calculadas adicionando ou subtraindo o erro de compensação apropriado
 25 E_{offsl} para as pressões indicadas pelo medidor de tensão P_{sg} pela duração do teste de formação. Desta maneira, a precisão do transdutor de quartzo e a resposta a transiente do medidor de tensão podem ambas serem usadas para gerar uma pressão de teste de formação corrigida que, onde desejado, é usada para cálculo em tempo real de características de formação.

Quando o teste de formação procede, é possível que as leituras de medidor de tensão possam se tornar mais precisas ou para a leitura de medidor de quartzo chegar a pressões atuais na câmara de pressão embora essa pressão esteja mudando. Em qualquer caso, é provável que a diferença entre as pressões indicadas pelo transdutor de medidor de tensão e pelo transdutor de quartzo em um dado momento em tempo possa mudar através da duração do teste de formação. Conseqüentemente, pode ser desejável considerar um segundo erro de compensação que é determinado ao término do teste quando condições de estado estável foram retomadas. Assim, quando pressões P_{hyd2} se estabilizam ao término do teste de formação, pode ser desejável calcular um segundo erro de compensação E_{offs2} . Este segundo erro de compensação E_{offs2} poderia então ser usado para prover um ajuste depois do fato para as pressões de teste de formação.

Os valores de compensação E_{offs1} e E_{offs2} podem ser usados para ajustar pontos de dados específicos no teste. Por exemplo, todos os pontos críticos até P_{fu} poderiam ser ajustados usando erros E_{offs1} , enquanto todos os pontos restantes poderiam ser ajustados usando erro de compensação E_{offs2} . Outra solução pode ser calcular uma média ponderada entre os dois valores de compensação e aplicar esta única compensação média ponderada a todas as leituras de pressão de medidor de tensão levadas durante o teste de formação. Outros métodos de aplicar os valores de erro de compensação para determinar precisamente pressões de teste de formação atuais podem ser usados por conseguinte e será entendido por aqueles qualificados na técnica.

A ferramenta de teste de formação 10 pode operar em dois modos gerais: operação de bomba ligada e operação de bomba desligada. Durante operação de bomba ligada, lama bombeia no fluido de perfuração de bomba de superfície pela coluna de perfuração 6 e de volta ao anel 150. Usando essa coluna de fluido de perfuração, a ferramenta 10 pode transmitir dados à superfície usando telemetria de pulso de lama durante o teste de

formação. A ferramenta 10 também pode receber comandos de ligação inferior de telemetria de pulso de lama da superfície. Durante um teste de formação, o tubo de broca e ferramenta de teste de formação não são girados. Porém, pode ser o caso que um movimento imediato ou rotação da coluna de perfuração será necessário. Como uma característica de falha segura, a
5 qualquer momento durante o teste de formação, um comando de aborto pode ser transmitido da superfície à ferramenta de teste de formação 10. Em resposta a este comando de aborto, a ferramenta de teste de formação descontinuará imediatamente o teste de formação e retrainá o pistão de sonda
10 a sua posição retraída normal para perfuração. O tubo de broca pode então ser movido ou girado sem causar dano à ferramenta de teste de formação.

Durante operação de bomba desligada, uma característica de falha segura semelhante também pode estar ativa. A ferramenta de teste de formação 10 e/ou ferramenta de MWD 13 pode ser adaptada para sentir
15 quando as bombas de fluxo de lama são ligadas. Conseqüentemente, o ato de ligar as bombas e restabelecer o fluxo pela ferramenta pode ser sentido por transdutor de pressão 160d ou por outros sensores de pressão em montagem de furo de fundo 6. Este sinal será interpretado por um controlador na ferramenta de MWD 13 ou outro controle e comunicado para controlador 190
20 que está programado para ativar automaticamente um comando de aborto na ferramenta de teste de formação 10. Neste momento, a ferramenta de teste de formação 10 descontinuará imediatamente o teste de formação e retrainá o pistão de sonda a sua posição normal para perfuração. O tubo de broca pode então ser movido ou girado sem causar dano à ferramenta de teste de
25 formação.

Os comandos de ligação superior e ligação inferior não estão limitados à telemetria de pulso de lama. Por meio de exemplo e não por meio de limitação, outros sistemas de telemetria podem incluir métodos manuais, incluindo ciclos de bomba, faixas de fluxo/pressão, rotação de tubo, ou

combinações disso. Outras possibilidades incluem métodos de telemetria eletromagnética (EM), acústica e de linha de fios. Uma vantagem de usar métodos de telemetria alternativos se acha no fato que telemetria de pulso de lama (ambas ligação superior e ligação inferior) requer operação de bomba ligada, mas outros sistemas de telemetria não. O comando de aborto de falha segura pode portanto ser enviado da superfície à ferramenta de teste de formação usando um sistema de telemetria alternativo indiferente de se as bombas de fluxo de lama estão ligadas ou desligadas.

O receptor de furo abaixo para comandos de ligação inferior ou dados da superfície podem residir dentro da ferramenta de teste de formação ou dentro de uma ferramenta de MWD 13 com a qual se comunica. Igualmente, o transmissor de furo abaixo para comandos de ligação superior ou dados de furo abaixo pode residir dentro da ferramenta de teste de formação 10 ou dentro de uma ferramenta de MWD 13 com a qual se comunica. Os receptores e transmissores podem cada um estar posicionado em ferramenta de MWD 13 e os sinais de receptor podem ser processados, analisados, e enviados a um controlador mestre na ferramenta de MWD 13 antes de serem retransmitidos para controlador local 190 em ferramenta de teste de formação 10.

Comandos ou dados enviados da superfície à ferramenta de teste de formação podem ser usados para mais que transmitir um comando de aborto de falha segura. A ferramenta de teste de formação pode ter muitos modos operacionais programados. Um comando da superfície pode ser usado para selecionar o modo operacional desejado. Por exemplo, um de uma pluralidade de modos operacionais pode ser selecionado transmitindo uma seqüência de cabeçalho indicando uma mudança em modo operacional seguida por vários pulsos que correspondem àquele modo operacional. Outros meios de selecionar um modo operacional serão conhecidos àqueles qualificados na técnica.

Além dos modos operacionais discutidos, outra informação pode ser transmitida da superfície à ferramenta de teste de formação 10. Esta informação pode incluir dados operacionais críticos tais como profundidade ou densidade de lama de perfuração de superfície. A ferramenta de teste de formação 10 pode usar esta informação para ajudar a refinar as medições ou cálculos feitos furo abaixo ou para selecionar um modo operacional. Comandos da superfície também poderiam ser usados para programar a ferramenta de teste de formação 10 para executar em um modo que não está pré-programado.

Um exemplo de um modo operacional da ferramenta de teste 10 é a habilidade para adaptar o procedimento de teste de pressão para levar em conta qualquer efeito de pressão de supercarga na formação 9 em profundidades de teste diferentes.

Invasão de filtrado de lama e formação do bolo de lama 49 influenciam principalmente variações de pressão perto da parede de furo de sondagem 151. Durante perfuração, a pressão de furo de sondagem pode ser mantida a uma pressão substancialmente maior do que a pressão de poro de formação (P_f) para controlar produção de fluidos de formação no furo de sondagem 8. Quando uma zona produtora é penetrada, a parede de furo de sondagem 151 é exposta à pressão hidrostática (P_{mh}) e filtrado invade a formação 9 perto da parede de furo de sondagem 151. O bolo de lama 49 então se forma pelo depósito resultante de sólidos no fluido de perfuração na parede de furo de sondagem 151. Este processo normalmente é chamado filtração estática. O bolo de lama 49 cresce e eventualmente se estabiliza a uma espessura máxima. Isto é um resultado da ação de cisalhamento da circulação de lama no anel 150 como também ação mecânica de qualquer giro do tubo de broca 5. Este processo é chamado filtração dinâmica. Durante estes processos, um gradiente de pressão é estabelecido na formação 9, como ilustrado na Figura 13. A pressão no furo de sondagem 8 perto da superfície

do bolo de lama 49 está na pressão hidrostática (P_{mh}), mas cai pelo bolo de lama 49 e então continua para reduzir na formação 9, formando um gradiente chegando à pressão de formação (P_f) alguma distância longe da parede de furo de sondagem 151. A pressão de supercarga (P_{sc}) é a diferença entre a pressão na face de areia, ou parede de furo de sondagem 151 (P_{ss}), e a pressão de formação (P_f).

O gradiente de pressão de supercarga atual depende das características do fluido de perfuração, dos parâmetros de perfuração, e das propriedades da formação sendo testada. Adicionalmente, para testes de pressão executados durante filtração estática, a pressão de supercarga (P_{sc}) pode mudar quando o bolo de lama 49 está se formando com o passar do tempo. Efeitos de pressão transientes também poderiam incluir pulsos na pressão hidrostática causados pela ferramenta de teste 10 operando em modo de bombas ligadas. Também pode haver efeitos de pressão transientes adicionais devido ao movimento da coluna de perfuração 5 causando um efeito de "esfregar" tal como quando fluido de perfuração está sendo circulado no furo de sondagem 8.

Para determinar a pressão de supercarga (P_{sc}) enquanto levando em conta efeitos de pressão transientes, a ferramenta de teste 10 mede a pressão hidrostática (P_{mh}). A ferramenta de teste 10 então executa um teste de rebatimento e pressão de formação para determinar a pressão na parede de furo de sondagem 151 semelhante aos registros mostrados nas Figuras 11 e 12. Neste processo, a pressão registrada pela ferramenta de teste 10 tende a perturbar as pressões de parede de furo de sondagem 151. Este registro de pressão "perturbada" é causado pela montagem de sonda 50 bloqueando infiltração de fluido de perfuração na formação 9 ao redor do bloco de vedação de sonda 140. Um exemplo de determinar a pressão na parede de furo de sondagem 151 sob condições "perturbadas" é descrito na Patente US N° 5.644.076 emitida em 1 de julho de 1997 e intitulada "Wireline

Formation Tester Supercharge Correction Method", incorporada por este meio aqui por referência para todos os propósitos. Para medir as propriedades de bolo de lama, um teste de vazamento pode ser executado antes do teste de rebatimento-formação. No teste de vazamento, o bloco 140 pode ser estendido

5 para vedar contra o bolo de lama 49 sem perturbar o bolo de lama 49. Quando apertado contra o bolo de lama 49, o volume de fluido aprisionado dentro da montagem de sonda 50 pelo bloco 140 experimenta pressão mais alta. O fluido é aprisionado pela ação de vedação da sonda contra o bolo de lama e a resistência combinada a fluxo oferecida pelo bolo de lama 49 e formação 9

10 perto da área de sonda. Alternativamente, esta pressão mais alta pode ser aumentada ejetando fluidos pela montagem de sonda de formação 50 sem aumentar a pressão da montagem de sonda de formação 50 contra o bolo de lama 49, assim evitando perturbar o bolo de lama 49. Porém, pressão hidráulica adicional também pode ser colocada no bloco 140 para aumentar a

15 pressão. A ferramenta de teste 10 mede a pressão do fluido aprisionado pelo bloco de vedação 140 com o passar do tempo quando a pressão eventualmente diminui relativa à pressão hidrostática no furo de sondagem 8 devido ao fluxo de fluidos de furo de poço de alta pressão pelo bolo de lama 49. A vazão de fluido externa na formação 9 é governada principalmente pela permeabilidade

20 do bolo de lama 49, pela espessura do bolo de lama 49, viscosidade de fluido de filtrado de lama, e pela permeabilidade de formação. Assim, medir a taxa de declínio de pressão, ou "vazamento", durante este período inicial provê dados úteis para gerar indícios das propriedades do bolo de lama 49 e da formação 9. Permeabilidade e viscosidade podem ser combinadas em uma

25 variável chamada mobilidade, que é uma relação das duas propriedades (isto é, k/μ , mDarcy/cp) e representa a resistência a fluxo, caso contrário a viscosidade deve ser assumida ou medida por um método diferente.

A pressão "não perturbada" na parede de furo de sondagem 151 sob o bolo de lama 49 é então modelada para determinar a pressão na

parede de furo de sondagem 151 não perturbada pela montagem de sonda 50. Um exemplo de modelar a pressão não perturbada na parede de furo de sondagem 151 é descrito no Pedido de Patente Provisório US Serial 60/549.092 depositado em 1 de março de 2004 e intitulado "Formation Testing While Drilling Tool", incorporado por este meio aqui por referência para todos os propósitos. Outro exemplo de modelar a pressão não perturbada na parede de furo de sondagem 151 também é descrito na Patente US Nº 5.644.076 emitida em 1 de julho de 1997 e intitulada "Wireline Formation Tester Supercharge Correction Method", incorporada por este meio aqui por referência para todos os propósitos.

Depois do teste de vazamento, a ferramenta de teste 10 então executa pelo menos um teste de rebatimento e/ou formação como descrito acima para obter medições de pressão da formação 9. A mudança de pressão súbita durante o rebatimento penetra no bolo de lama de forma que a ferramenta 10 possa estar em comunicação hidráulica com a formação. Agora propriedades de formação podem ser determinadas das pressões desenvolvidas, incluindo permeabilidade ou mobilidade de formação, e compressibilidade de fluido. Usando estas propriedades de formação junto com as propriedades de bolo de lama derivadas do teste de vazamento, a pressão de supercarga da formação 9 pode ser determinada usando um modelo de formação que usa as propriedades dinâmicas do bolo de lama 49, tal como o crescimento do bolo de lama 49. Um exemplo de um modelo de pressão de supercarga usando as propriedades dinâmicas do bolo de lama 49 pode ser derivado de um modelo de supercarga de fase única que assume fluxo de Darcy de fase única. Com o modelo de supercarga de fase única, a pressão de supercarga (P_{sc}) pode ser predita usando as equações de fluxo radial para um reservatório homogêneo infinito.

$$\Delta P_{sc} = P_{ss} - P_f = \left[\frac{q_m \mu}{4\pi h k_f} \right] \ln \left[\frac{4k_f t}{\gamma \phi \mu c r_w^2} \right] \quad (1)$$

onde ΔP_{sc} é a mudança devido à pressão de supercarga, P_{ss} é a pressão de supercarga de face de areia, P_f é a pressão de formação, q_m é a vazão de filtrado de lama (cm^3/s), μ é a viscosidade (cp), h é o comprimento unitário de reservatório (ft (30,48 cm)), k_f é a permeabilidade esférica de formação (md), t é o tempo de invasão ou o tempo do qual a formação era perfurada e o bolo de lama começou a crescer (segundos), γ é a constante de Euler (1,78), ϕ é a porosidade de formação, c é a compressibilidade total (1/psi (6,9 kPa)), e r_w é o rádio de furo de poço (cm).

Assumindo que o bolo de lama é relativamente fino comparado ao diâmetro de furo de poço (isto é, $l_{mc} \ll r_w$, onde l_{mc} é a espessura máxima de bolo de lama (cm)), o fluxo pelo bolo de lama pode ser modelado como um fluxo de Darcy linear com o diferencial de pressão entre a pressão hidrostática de lama de furo de sondagem (P_{mh}) e a pressão de supercarga de face de areia (P_{ss}) criando a perda de filtrado de lama (q_m).

$$q_m = \frac{2\pi r_w h k_{mc}}{\mu l_{mc}} (P_{mh} - P_{ss}) \quad (2)$$

onde k_{mc} é a permeabilidade de bolo de lama (md) e P_{mh} é a pressão hidrostática.

Como descrito acima, para determinar a pressão de supercarga uma equação pode ser usada para estimar a pressão de face de areia "não perturbada" sob o bolo de lama (veja Figura 14). O elemento de bloco cria uma perturbação no furo de poço próximo. Isto é causado pelo elemento de bloco bloquear completamente a infiltração de lama ao redor da sonda. Esta perturbação está relacionada à velocidade do filtrado na região de furo de poço próxima:

$$v_m = \frac{q_m}{2\pi r_w h} = \frac{k_f}{\lambda_c r_c \mu} (P_{ss} - P_{bu}) \dots\dots\dots (3)$$

onde fator de forma de elemento de obturador λ_c , r_c , é o raio de elemento de bloco (cm), e P_{bu} é a pressão formada.

O fator de forma de elemento de bloco λ_c , é uma correção

geométrica local considerando efeitos não esféricos, e pode ser determinado ambos analiticamente e numericamente. A solução analítica para fluxo potencial ao redor de um disco plano circular pode ser usada, que basta para estimativas simples. Alternativamente, simulações de elemento finito podem ser usadas para determinar este fator de forma que pode considerar a curvatura de cavidade de poço.

Agora usando as Equações 1 por 3, uma expressão para a pressão de supercarga pode ser determinada em termos da pressão hidrostática (P_{mh}) e pressão formada de face de areia (P_{bu}) como também as propriedades de formação e lama.

$$\Delta P_{sc} = \frac{P_{mh} - P_{bu}}{2} \left(\frac{\frac{r_w}{l_{mc}} \frac{k_{mc}}{k_f}}{1 + \frac{\lambda_e r_e}{l_{mc}} \frac{k_{mc}}{k_f}} \right) \ln \left(\frac{4k_f t}{\gamma \phi \mu c r_w^2} \right) \dots\dots\dots (4)$$

Usando os parâmetros não dimensionais seguintes,

$$p_{Dsc} = \frac{\Delta P_{ss}}{\Delta P_{ob}} = \frac{P_{ss} - P_f}{P_{mh} - P_{bu}} \dots\dots\dots (5)$$

onde p_{Dsc} é pressão de supercarga adimensional, ΔP_{ss} é o diferencial de pressão de supercarga, e ΔP_{ob} é o diferencial de pressão de sobre-equilíbrio;

$$t_D = \frac{4k_f t}{\gamma \phi \mu c r_w^2} \dots\dots\dots (6)$$

onde t_D é tempo adimensional;

$$r_{Dre} = \frac{\lambda_e r_e}{r_w} \dots\dots\dots (7)$$

onde r_{Dre} é o raio adimensional de elemento de bloco; e

$$\tau_{Dmc} = \frac{r_w}{l_{mc}} \frac{k_{mc}}{k_f} \dots\dots\dots (8)$$

onde τ_{Dmc} é a relação de transmissibilidade de bolo de lama.

Equação 4 pode ser reduzida a uma forma mais simples de forma que o efeito nestes parâmetros não dimensionais possam ser estudados.

$$p_{Dsc}(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{\tau_{Dmc}}{1 + \tau_{Dmc} r_{Drc}} \right) \ln(t_D) \dots\dots\dots (9)$$

A pressão de supercarga adimensional p_{Dsc} é o grau relativo de supercarregamento baseado em pressões medidas e normalizadas ao sobre-equilíbrio aparente. O sobre-equilíbrio aparente ΔP_{ob} é a diferença entre pressão de fluido de perfuração hidrostática e a pressão formada de face de areia medida. O termo p_{Dsc} é a relação da supercarga atual ΔP_{sc} , baseada na
 5 pressão de face de areia não perturbada para o sobre-equilíbrio aparente ΔP_{ob} , que pode ser medido usando a ferramenta de teste de formação 10.

Tempo adimensional t_D determina a resposta a transiente do supercarregamento. Sua definição é a mesma como aquela usada para teste de
 10 poço transiente.

O raio adimensional de elemento de bloco r_{Dc} determina o grau relativo que a pressão formada de face de areia medida P_{bu} se desvia da pressão de face de areia atual ou supercarregada P_{ss} . É dominado principalmente por constrangimentos geométricos do sistema e não
 15 influenciado por propriedades de bolo de lama ou formação.

A relação de transmissibilidade de bolo de lama τ_{Dmc} determina o efeito de supercarga global baseado nas propriedades de bolo de lama e formação. É uma medida da resistência relativa a invasão de filtrado do bolo de lama contra a resistência de formação. Se a relação de
 20 transmissibilidade for pequena, o bolo de lama domina a invasão de filtrado e supercarregamento é pequeno. Se a relação de transmissibilidade for grande, a invasão é influenciada principalmente pela formação e supercarregamento é relativamente alto.

As propriedades dinâmicas do bolo de lama 49 podem então
 25 ser incluídas no modelo. Por exemplo, um modelo para prever crescimento de bolo de lama pode ser usado que era desenvolvido para fluxo radial.

$$\frac{1}{2} \left(1 - \frac{l_{mc}}{r_w} \right)^2 \left(\ln \left(1 - \frac{l_{mc}}{r_w} \right) - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{4} = \frac{k_{mc} \lambda_{mc} \Delta P_{mc} t}{\mu r_w^2} \quad (10)$$

onde λ_{mc} é o fator de compactação de bolo de lama e ΔP_{mc} é o diferencial de pressão de bolo de lama. A derivação da Equação 10 assume que diferencial de bolo de lama ΔP_m é constante, mas não está limitado a este constrangimento. Quando o bolo de lama 49 se forma, o diferencial de
 5 pressão pode mudar. Neste caso, a integral $\int \Delta P_m(t) dt$ simplesmente apareceria no lugar de $\Delta P_m t$. Nesta forma geral, a Equação 10 pode ser usada como uma condição de limite para um modelo de reservatório de multifase onde o crescimento de bolo de lama está acoplado à invasão de filtrado.

Assumindo que o bolo de lama 49 é pequeno relativo ao raio
 10 de furo de poço (isto é, $l_{mc}/r_w \rightarrow 0$), pode ser mostrado que a Equação 8 pode ser reduzida à expressão mais simples seguinte:

$$l_{mc}(t) = \sqrt{\frac{2k_{mc}\lambda_{mc}\Delta P_{mc}t}{\mu}} \quad (11)$$

Esta equação é o modelo de filtração linear onde o bolo de filtro cresce com a raiz quadrada de tempo. A aproximação $\sqrt{t}$ é bastante satisfatória para valores de $l_{mc}/r_w < 0,20$. Esta conclusão se aplica à formação
 15 de bolo de lama radial e linear, mas não pode se aplicar à formação de bolo em formações onde o bolo de lama e formação têm permeabilidades comparáveis. Felizmente, a situação anterior é raramente o caso para a maioria das zonas produtoras e Equação 12 abaixo é um método razoável para estimar crescimento de bolo de lama.

20 O modelo de bolo de lama linear pode ser incorporado na equação de supercarga geral, Equação 9, aplicando superposição aos períodos de tempo incrementais usados para predizer o crescimento de bolo de lama.

$$p_{Dsc}(t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(A_i - A_{i-1}) \ln(t_D - t_{D(i-1)})] \quad (12)$$

onde:

$$A_i = \tau_{Dmc}(t_i) \quad (13)$$

25 Este modelo acopla crescimento de bolo de lama à pressão de supercarga.

Assumindo que pressão de formação é conhecida, a relação seguinte pode ser desenvolvida para prever supercarregamento:

$$\Delta P_{sc} = \frac{P_f + p_{Dsc} P_{mh}}{1 + p_{Dsc}} - P_f \quad (14)$$

Propriedades de bolo de lama também podem ser determinadas de uma prensa de filtração estática, projetada originalmente por P. H. Jones, e foram usadas há muito tempo para caracterizar crescimento de bolo de lama estático. Desde seu começo, dispositivos semelhantes foram desenvolvidos para medir propriedades de filtração a temperaturas e pressões de furo de poço. As propriedades de permeabilidade de bolo de lama, k_{mc} e o fator de compactação, λ_{mc} , que aparecem nas Equações 11 e 12 podem ser medidos da prensa de filtração estática como segue:

$$\lambda_{mc} = \frac{l_{mc}(t)}{h(t)} = \frac{f_s}{(1 - f_s)(1 - \phi_{mc})} \quad (16)$$

$$\left(\frac{k_{mc}}{\mu} \right) = \frac{l_{mc}(t)}{2t} \frac{h(t)}{\Delta p} \quad (17)$$

As quantidades $l_{mc}(t)$ e $h(t)$ são a espessura de bolo de lama medida e altura de fluido de filtrado, respectivamente, em tempo t enquanto mantendo uma pressão diferencial constante Δp por um filtro usado para formar o bolo de lama. O fator de compactação de bolo de lama (Equação 15) é um parâmetro adimensional que pode estar relacionado à porosidade ϕ_{mc} e à fração sólida f_s do fluido de perfuração. Esta relação era desenvolvida considerando a filtração de uma suspensão de fluido de partículas sólidas por um bolo de lama poroso, mas rígido. Enquanto bolos de lama não podem se comportar como soluções ideais com partículas sólidas, o fator de compactação é uma propriedade medida que caracteriza o crescimento de bolo de lama em condições de furo abaixo. Adicionalmente, este teste é corrido rotineiramente para testar bolos de lama no processo de perfuração.

Uma análise de sensibilidade de exemplo ilustra o efeito de supercarga com tempo de invasão usando as variáveis mostradas na TABELA 1.

Figura 15 ilustra o efeito de supercarga. A pressão de supercarga pode aumentar rapidamente nos períodos de tempo muito cedo e então tem picos quando o bolo de lama 49 cresce e obstrui a invasão. Figura 15 ilustra os resultados para os dois modelos de supercarga. O primeiro assume um bolo de lama de espessura constante determinada por Equação 10. O segundo usa as Equações 11 e 12 para simular supercarregamento, onde o bolo de lama 49 se desenvolve com o passar do tempo. Para simular o crescimento de bolo de lama para o processo de filtração estático e dinâmico, o bolo de lama é permitido crescer até que alcance sua espessura máxima de 0,5 cm. Este processo pode levar cerca de 10 minutos e, como mostrado na Figura 15, a supercarga adimensional continua a declinar durante este período de tempo. Depois que o bolo de lama 49 pára de crescer, a pressão de supercarga começa a aumentar e pode chegar ao modelo de espessura estática. Para determinar o grau de supercarregamento, a pressão de supercarga adimensional é multiplicada pelo sobre-equilíbrio aparente, que é a diferença entre pressão de lama hidrostática e a pressão formada de FTWD (isto é, $\Delta P_{ob} = P_{mh} - P_{bu}$).

TABELA 1- Exemplo de Supercarga		
Variável de sensibilidade	Unidades	Base
Permeabilidade de formação	$k_f (md)$	1,0
Porosidade de formação	ϕ	0,25
Viscosidade de filtrado de formação	$\mu (cp)$	1,0
Compressibilidade de formação	$c (1/psi(6,9 kPa))$	3×10^{-6}
Permeabilidade de bolo de lama	$k_{mc} (md)$	,0001
Porosidade de bolo de lama	ϕ_{mc}	0,01
Fração sólida de lama	f_s	0,9
Fator de compactação de bolo de lama	λ_{mc}	10,0
Espessura máxima de bolo de lama	$l_{mc} (cm)$	0,5
Pressão de sobre-equilíbrio	$\Delta P_{oh} (psi(6,9 kPa))$	1000
Raio de furo de poço	$r_w (cm)$	10,0
Raio de elemento de obturador	$r_e (cm)$	5,0
Fator de forma de elemento de obturador	e	1,1
Altura de reservatório unitária	$h (cm)$	1

Figura 16 ilustra simulações adicionais onde a permeabilidade de reservatório é variada de 0,1 md a 10 md. Figura 16 ilustra que supercarregamento pode variar geometricamente com permeabilidade de

5 formação. O mesmo é verdadeiro para permeabilidade de bolo de lama porque estes parâmetros são combinados juntos na constante adimensional de transmissibilidade de bolo de lama D_{mc} . Estes casos refletem a experiência de campo onde supercarregamento se torna um fator significativo em zonas com menos de 1 md.

Alternativamente, o modelo de supercarga também pode levar em conta transientes de pressão causados pelas bombas operando como também o "esfregamento" da ferramenta de teste 10. Operação de bombas ligadas é comum em teste de FTWD de forma que dados podem ser transmitidos à superfície em tempo real. Adicionalmente, operação de bombas ligadas ajuda a prevenir "aderência" de tubo. Porém, tendo as bombas ligadas pode produzir pulsos de pressão no furo de sondagem tão altos quanto 689,6 kPa a uma frequência de 1 Hz.

15 Variações hidrostáticas adicionais podem ser produzidas devido à ação de esfregamento da coluna de perfuração 5. Quando mudanças de profundidade são feitas, a fricção do tubo pode criar uma pressão dinâmica. O movimento de tubo pode criar mudanças de pressão hidrostática até 344,8 kPa pela duração de um teste de pressão.

Para separar e observar as flutuações de pressão causadas por 20 operação de bombas ligadas e esfregamento, um modelo de espessura de bolo de lama constante pode ser usado. O sobre-equilíbrio também é assumido variar senoidalmente. Para simular esfregamento, o sobre-equilíbrio é aumentado linearmente. Usando um desenvolvimento semelhante usado para o modelo de supercarregamento, pode ser mostrado que as pressões de face de 25 areia são modeladas usando uma forma modificada da Equação 12, mas neste caso, o bolo de lama 49 é constante e A varia como segue.

$$A_i = \left(\frac{\tau_{Dmc}}{1 + r_{Dre} \tau_{Dmc}} \right) \sin(2\pi f t_i) + \frac{G t_i}{\Delta P_{ob}} \quad (18)$$

onde G é o gradiente de tempo de pressão (psi (6,9 kPa)/s).

Usando uma frequência de pulso de lama de 1 Hz para f e um gradiente linear de 5 psi (34,5 kPa)/min para G , Figura 17 mostra os resultados para as flutuações de pressão de sonda por um período de tempo de 10 segundos. Esta simulação inclui as mesmas variáveis de entrada como o exemplo de supercarga apresentado previamente (TABELA 1). Pressões podem variar tanto quanto 2,06 kPa devido a pulsos de pressão, e há um aumento gradual em pressão de cerca de 0,68 kPa por 10 segundos.

Porque medidores de quartzo calculam em média dados entre atualizações, os pulsos de lama são suficientemente pequenos que eles podem não ser observados. Também, dependendo da duração de tempo que esfregamento continua, estas mudanças de pressão poderiam ser abafadas igualmente. A magnitude destas mudanças de pressão depende da relação de transmissibilidade de bolo de lama, muito semelhante ao supercarregamento. Portanto, se a permeabilidade da formação aumentar acima de 1 md, estes efeitos dinâmicos de furo de sondagem podem ser isolados do teste de FTWD.

Deveria ser apreciado que outros modelos de supercarga analíticos e numéricos podem ser usados. Por exemplo, enquanto o modelo de supercarga precedente assume fluxo monofásico, em muitos casos, o filtrado de lama é diferente dos fluidos de formação. Para considerar precisamente estas diferenças, um modelo de multifase pode ser usado. Em alguns casos, o filtrado de lama pode ser miscível ou imiscível com os fluidos de formação. Isto requer um modelo mais complexo que normalmente requer métodos numéricos. Indiferente do modelo usado, os procedimentos seguintes para prever supercarga se aplica a ferramentas de WFT e FTWD. Exemplos de modelos de supercarga adicionais estão expostos no artigo intitulado "Formation Testing In the Dynamic Drilling Environment" por M. Proett, D. Seifert, W. Chin, e P. Sands apresentado no 45º Simpósio de Registro Anual de SPWLA, 6-9 de junho de 2004, como também o artigo intitulado "Multiple

Factors that Influence Wireline Formation Tester Pressure Measurements and Fluid Contact Estimates" por M. Proett, W. Chin, M. Manohar, R. Sigal, e J. Wu, SPE 71566, apresentado na Conferência e Exibição Técnica Anual 2001 SPE mantida em Nova Orleães, Louisiana, 30 de Setembro - 3 de outubro de 2001, ambos os artigos incorporados por este meio aqui por referência para todos os propósitos.

Usando os modelos de supercarga previamente descritos, supercarregamento pode ser predito usando vários métodos. Primeiro, pressões de supercarga podem ser preditas estimando as propriedades de formação, bolo de lama e fluido. Propriedades de formação tipicamente incluem permeabilidade e porosidade. Propriedades de bolo de lama incluem permeabilidade, espessura máxima e fator de compactação que são usados para prever taxa de crescimento de bolo de lama. Estas propriedades podem ser determinadas em um teste de filtração de bolo de lama. Propriedades de fluido consistem em compressibilidade e viscosidade. Geralmente estas propriedades são estimadas antes de perfurar um poço e uma estimativa de supercarregamento pode ser feita usando o modelo monofásico que considera crescimento de bolo de lama. Estas estimativas assumem invasão monofásica. Adicionalmente, modelos mais complexos podem ser usados para considerar modelos de multifase, mas informação adicional precisa ser estimada, tal como permeabilidade relativa das duas fases e pressão capilar. Para estes casos complexos, um modelo numérico é usado.

O segundo método de estimar a pressão de supercarga é usar os registros de pressão da ferramenta de testador 10. Todos os dados de pressão de testador de formação podem ser usados para estimar a permeabilidade de formação além de medir a pressão hidrostática e pressão de furo de sondagem ou face de areia atrás do bolo de lama 49. Então, usando esta informação e as propriedades de bolo de lama de testes de filtração de bolo de lama de superfície, uma estimativa de supercarregamento pode ser

feita usando as Equações 1 e 9 ou 12 e 13. Novamente modelos de multifase também podem ser empregados.

O terceiro método de estimar a pressão de supercarga é medir as propriedades de bolo de lama *in situ*. Isto é inerentemente mais preciso desde que a espessura e permeabilidade de bolo de lama podem variar pelo poço. Para calcular a pressão de supercarga, a ferramenta de teste 10 também mede as propriedades do bolo de lama 49 e da formação 9. Um exemplo de um método de medir as propriedades de bolo de lama 49 é descrito na Patente US N° 5.644.076 emitida em 1 de julho de 1997, e intitulada "Wireline Formation Tester Supercharge Correction Method", incorporada por este meio aqui por referência para todos os propósitos. Para medir as propriedades de bolo de lama, o bloco 140 pode ser estendido para vedar contra o bolo de lama 49 sem perturbar o bolo de lama 49. Quando apertado contra o bolo de lama 49, o volume de fluido aprisionado dentro da montagem de sonda 50 pelo bloco 140 experimenta pressão mais alta. Alternativamente, esta pressão mais alta pode ser aumentada ejetando fluidos pela montagem de sonda de formação 50 sem aumentar a pressão da montagem de sonda de formação 50 contra o bolo de lama 49, assim evitando perturbar o bolo de lama 49. Porém, pressão hidráulica adicional também pode ser colocada no bloco 140 para aumentar a pressão. A ferramenta de teste 10 mede a pressão do fluido aprisionado pelo bloco de vedação 140 com o passar do tempo quando a pressão diminui eventualmente relativa à pressão hidrostática no furo de sondagem 8 devido ao fluxo de fluidos de furo de poço de alta pressão pelo bolo de lama 49. A vazão de fluido externa na formação 9 é governada pela permeabilidade do bolo de lama 49. Assim, medir a taxa de declínio de pressão, ou "vazamento", durante este período inicial provê dados úteis para gerar indícios das propriedades do bolo de lama 49 e da formação 9. Usando os dados de propriedade de bolo de lama da ferramenta de teste de formação 10, a pressão de supercarga na formação 9 pode então ser calculada usando

um modelo matemático descrito na Patente US N° 5.644.076, emitida em 1 de julho de 1997, e intitulada "Wireline Formation Tester Supercharge Correction Method", incorporada por este meio aqui por referência para todos os propósitos. O modelo matemático inclui cálculos que levam em conta efeitos de pressão transientes nas medições de pressão feitas pela ferramenta de teste 10. Porém, o modelo de supercarga descrito na Patente US N° 5.644.076 assume que invasão não é dinâmica, mas pode ser assumida ser estática quando a medição de testador é feita. Usando as Equações 1, 9, 12 e 13 não faz esta suposição de forma que a pressão de supercarga é estimada mais precisamente.

O quarto método usa o fato que invasão é dinâmica e portanto supercarregamento pode fazer as pressões mudarem com o passar do tempo. Por exemplo, se um teste de pressão for feito enquanto perfurando no poço com uma ferramenta de FTWD e então registrada novamente vários dias mais tarde quando a montagem de furo de fundo está sendo puxada, a pressão pode mudar. Como mostrado na Figura 15, pressões de furo de sondagem declinam quando o bolo de lama está se formando e então começam a aumentar quando a espessura de bolo de lama é estabelecida. Ajustando as propriedades de bolo de lama do modelo de supercarga, as pressões medidas de dois ou mais testes de pressão podem ser casadas com uma curva semelhante à Figura 15. Isto pode ser feito usando a Equação 12 ou uma simulação numérica.

O quinto método também usava as pressões variáveis com o passar do tempo para caracterizar supercarregamento. Em alguns casos, um transiente de pressão pode ser observado durante um teste de formação de testador de formação. Geralmente, o transiente de pressão formado está casado com um modelo de formação para determinar a permeabilidade de formação. Mas, em muitos casos, o transiente de pressão de formação tem um transiente adicional que pode ser caracterizado devido a supercarregamento. O transiente de modelos de formação pode ser subtraído do transiente de

pressão total usando o princípio de superposição que só deixa o transiente de supercarga. Então usando as Equações 12 e 13 ou um modelo numérico, este transiente de pressão supercarregado pode ser casado e propriedades de bolo de lama e supercarregamento estimados.

5 O sexto método usa o fato que em operações de perfuração, a pressão de furo de sondagem pode variar. Por exemplo, a pressão hidrostática pode variar pela duração do teste de pressão tanto quanto 689,6 kPa. Este transiente de pressão é transmitido pelo bolo de lama à formação e pode ser detectado pela ferramenta de FTWD. Novamente, este transiente de pressão
10 pode ser determinado por superposição e usado para estimar as propriedades de bolo de lama. Neste caso, as Equações 12 e 13 podem ser usadas para casar o transiente de pressão de supercarga e estimar propriedades de bolo de lama. Então usando as Equações 12 e 13 ou outros métodos numéricos. Como em todos os casos prévios, um modelo numérico pode ser usado no lugar das
15 equações.

 O sétimo método usa os pulsos de lama que existem quando bombas de lama são ligadas durante um teste de pressão. Estes pulsos de lama são transmitidos pelo bolo de lama e são detectados pelo testador de formação durante a formação. Usando as Equações 12 e 18, as propriedades de bolo de
20 lama podem ser determinadas casando a magnitude destes pulsos de lama. Então, usando as Equações 12 e 13 ou outros métodos numéricos, a pressão de supercarga pode ser estimada.

 Uma vez que o modelo para a pressão de supercarga seja criado, os parâmetros do modelo podem ser ajustados para casar as pressões
25 medidas durante o teste de rebatimento e/ou formação levado com a ferramenta de teste 10. Estes parâmetros de modelo podem então ser usados para determinar a pressão de supercarga e assim a pressão de formação. Por exemplo, a pressão de supercarga pode ser levada em conta nas medições de pressão feitas pela ferramenta de teste de formação 10 para determinar a

pressão de formação atual (P_f).

Além de determinar a pressão de supercarga para corrigir as medições de teste de pressão, a ferramenta de teste 10 também pode ser usada para fazer medições múltiplas depois de perfurar um local particular na formação 9 para determinar os efeitos de supercarregamento com o passar do tempo quando o filtrado entra na formação 9 e o bolo de lama 49 se forma. Conhecendo os efeitos de supercarregamento por um período de tempo permite à ferramenta de teste 10 otimizar o procedimento de teste de pressão. Por exemplo, pode ser determinado que para uma dada formação 9, há uma duração de tempo depois de perfurar recentemente o furo de sondagem 8, onde a pressão de supercarga é bastante baixa para não afetar substancialmente as medições de pressão de formação. A ferramenta 10 pode então ser usada para executar testes de pressão dentro deste tempo para minimizar os efeitos de pressão de supercarga nas medições de pressão. Executar os testes de pressão antes de pressão de supercarga significativa, também permite à ferramenta de teste 10 tirar fluido de formação sem ter que primeiro tirar filtrado que entrou na formação 9. As medições múltiplas de pressão de supercarga podem ser executadas no mesmo local dentro do furo de sondagem 8 ou em locais diferentes como desejado.

O fluido de perfuração também pode ser re-projetado em tempo real para otimizar as propriedades de fluido de perfuração dependendo da pressão de supercarga medida. Por exemplo, a densidade do fluido de perfuração pode ser aumentada ou diminuída dependendo da interação desejada entre o bolo de lama 49 e a formação 9. As propriedades químicas do fluido de perfuração também podem ser ajustadas dependendo de como o fluido de perfuração interage com a formação 9 assim para minimizar a pressão de supercarga. As propriedades de fluido de perfuração podem ser mudadas para melhorar a ação de vedação do bolo de lama (isto é, permeabilidade de bolo de lama) e acelerar a formação do bolo de lama (isto

é, fator de compactação de bolo de lama).

A ferramenta de teste de formação 10 também pode usar a pressão de supercarga para ajustar as medições feitas por outros instrumentos de registro. Por exemplo, as medições feitas por um sensor de registro de resistividade de onda eletromagnética (EWR) são afetadas pela pressão de
5 supercarga na formação se estendendo na formação, ou gradiente de pressão de supercarga. Uma vez que o gradiente de pressão de supercarga seja determinado, o gradiente de pressão de formação pode ser estimado usando propriedades de formação e de bolo de lama. Então, a profundidade de
10 invasão também pode ser estimada. As medições feitas pelo EWR podem ser ajustadas para refletir mais precisamente as propriedades da formação. O gradiente de pressão de supercarga também pode ser usado para corrigir quaisquer outras medições de sensor que são afetadas pela pressão de supercarregamento.

15 Enquanto concretizações específicas foram ilustradas e descritas, alguém qualificado na técnica pode fazer modificações sem partir do espírito ou ensinamento desta invenção. As concretizações como descritas são só exemplares e não são limitantes. Muitas variações e modificações são possíveis e estão dentro da extensão da invenção. Por conseguinte, a extensão
20 de proteção não está limitada às concretizações descritas, mas só está limitada pelas reivindicações que seguem, a extensão de quais deverá incluir todos os equivalentes do assunto das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar a pressão de supercarga em uma formação interceptada por um furo de sondagem (8) tendo uma parede, caracterizado pelo fato de que compreende:

- 5 dispor uma ferramenta de teste de pressão de formação (10) no furo de sondagem (8), a ferramenta de teste de pressão de formação (10) tendo uma sonda (50) para isolar uma porção do furo de sondagem (8);
- estender a sonda (50) em contato de vedação com a parede de furo de sondagem (151);
- 10 executar pelo menos um teste de rebatimento com a ferramenta de teste de pressão de formação (10) tirando fluido de formação em uma câmara de rebatimento da ferramenta de teste de pressão de formação (10) e medir pressão de fluido na câmara de rebatimento;
- modelar a pressão de supercarga da formação usando efeitos
- 15 de pressão transientes causados pelas propriedades dinâmicas de um bolo de lama (49) formado na parede de furo de sondagem (151); e
- determinar a pressão de supercarga da formação usando o modelo de pressão de supercarga.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo
- 20 fato de que compreende ainda determinar a pressão de poro da formação usando a pressão de supercarga.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda determinar propriedades de formação e de bolo de lama (49).

- 25 4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda dispor a ferramenta de teste de pressão de formação (10) no furo de sondagem (8) em uma coluna de perfuração (5).

5. Método de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que compreende ainda modelar a pressão de supercarga da formação

usando efeitos de pressão transientes causados por movimento da coluna de perfuração (5).

5 6. Método de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que compreende ainda modelar a pressão de supercarga da formação usando efeitos de pressão transientes causados por pulsos de pressão de fluido de perfuração no furo de sondagem (8).

 7. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda determinar a pressão de supercarga usando um processador.

10 8. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda executar pelo menos um teste de vazamento com a ferramenta de teste de pressão de formação (10).

 9. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda determinar a pressão de supercarga enquanto fluido de perfuração está fluindo no furo de sondagem (8).

 10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que estender a sonda (50) em contato de vedação com a parede de furo de sondagem (151) compreende ainda formar vedação com a parede de furo de sondagem (151) pelo bolo de lama (49).

20 11. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende repetir executar testes de rebatimento e determinar a pressão a supercarga por um período de tempo depois que o furo de sondagem (8) intercepta a formação.

 12. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que compreende ainda determinar quando executar um teste de pressão de formação para minimizar o efeito de pressão de supercarga na formação.

 13. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que compreende ainda repetir determinar a pressão de supercarga por um período de tempo no mesmo local.

14. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que compreende ainda repetir determinar a pressão de supercarga por um período de tempo em locais diferentes.

5 15. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que estender a sonda (50) em contato de vedação com a parede de furo de sondagem (151) compreende ainda formar vedação com a parede de furo de sondagem (151) pelo bolo de lama (49).

10 16. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ajustar as propriedades do fluido de perfuração baseado na pressão de supercarga.

17. Método de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que compreende ainda ajustar as propriedades do fluido de perfuração para minimizar a pressão de supercarga.

15 18. Método de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que compreende ainda ajustar as propriedades químicas do fluido de perfuração.

19. Método de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que compreende ainda ajustar a densidade do fluido de perfuração.

20 20. Método de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que compreende ainda ajustar o fluido de perfuração para melhorar a ação de vedação do bolo de lama (49).

21. Método de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que compreende ainda ajustar o fluido de perfuração para aumentar a taxa de formação do bolo de lama (49).

25 22. Método de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que estender a sonda (50) em contato de vedação com a parede de furo de sondagem (151) compreende ainda formar vedação com a parede de furo de sondagem (151) pelo bolo de lama (49).

23. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

ainda pelo fato de que compreende:

fazer medições com um sensor de registro enquanto perfura (LWD); e

5 ajustar as medições do sensor de registro enquanto perfura (LWD) baseado na pressão de supercarga.

24. Método de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de que compreende ainda determinar a distribuição da invasão de filtrado usando o modelo de pressão de supercarga.

10 25. Método de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de que o sensor de registro enquanto perfura compreende um sensor de registro de resistividade de onda eletromagnética.

15 26. Método de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de que estender a sonda (50) em contato de vedação com a parede de furo de sondagem (151) compreende ainda formar vedação com a parede de furo de sondagem (151) pelo bolo de lama (49).

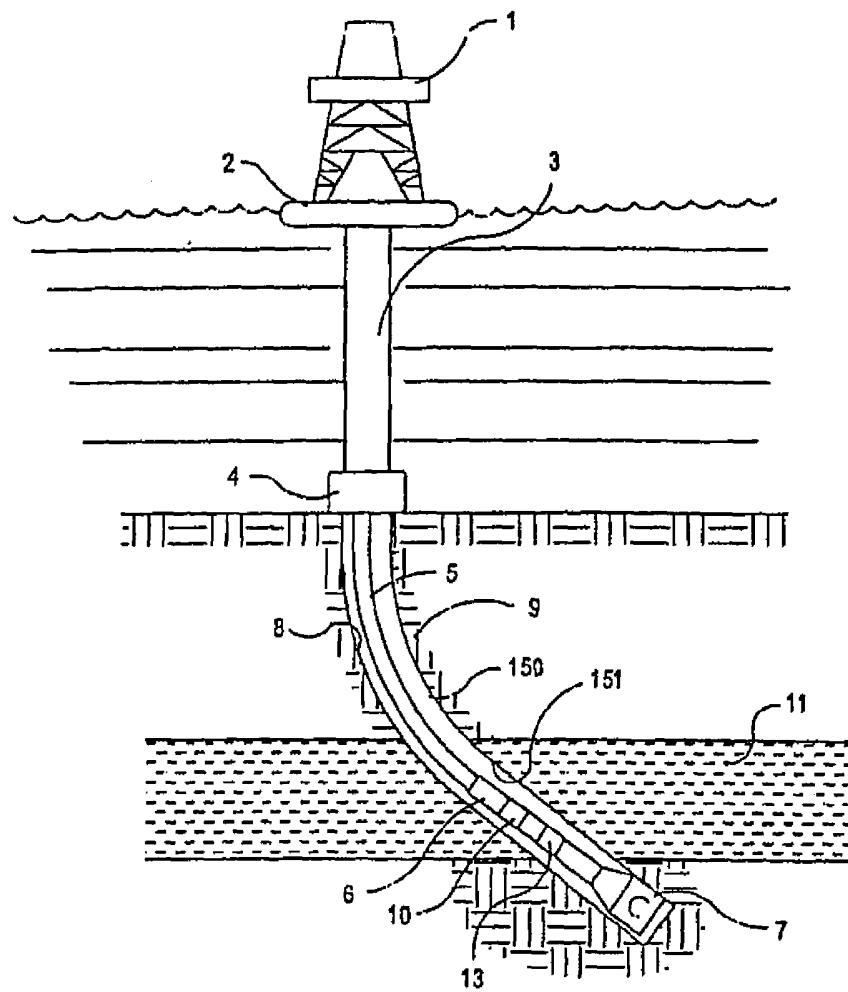


FIG 1

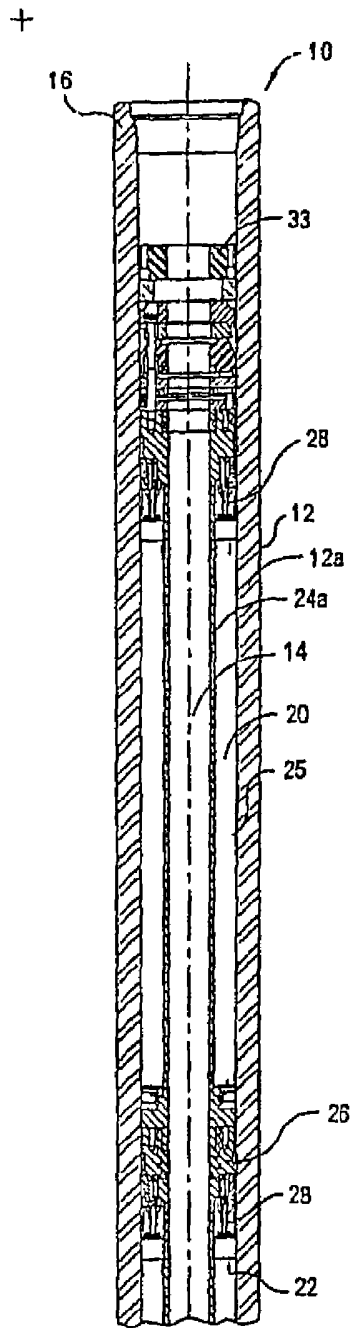


FIG 2A

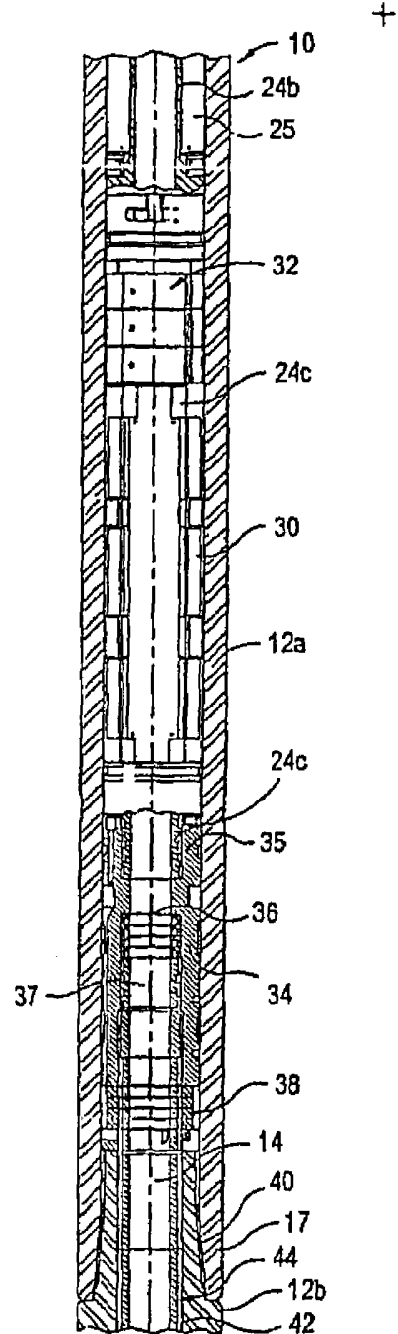


FIG 2B

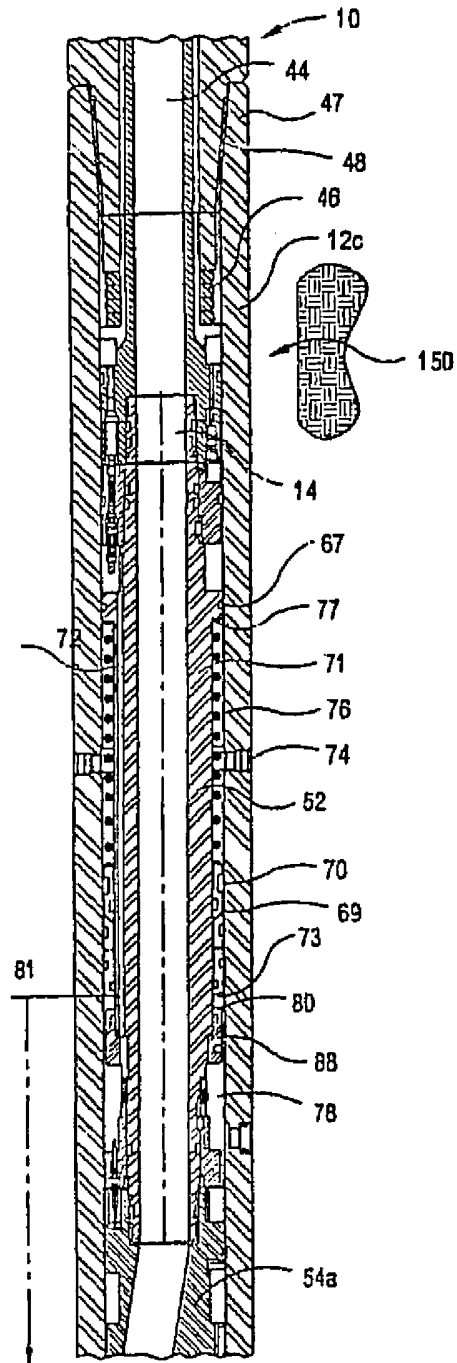


FIG 2C

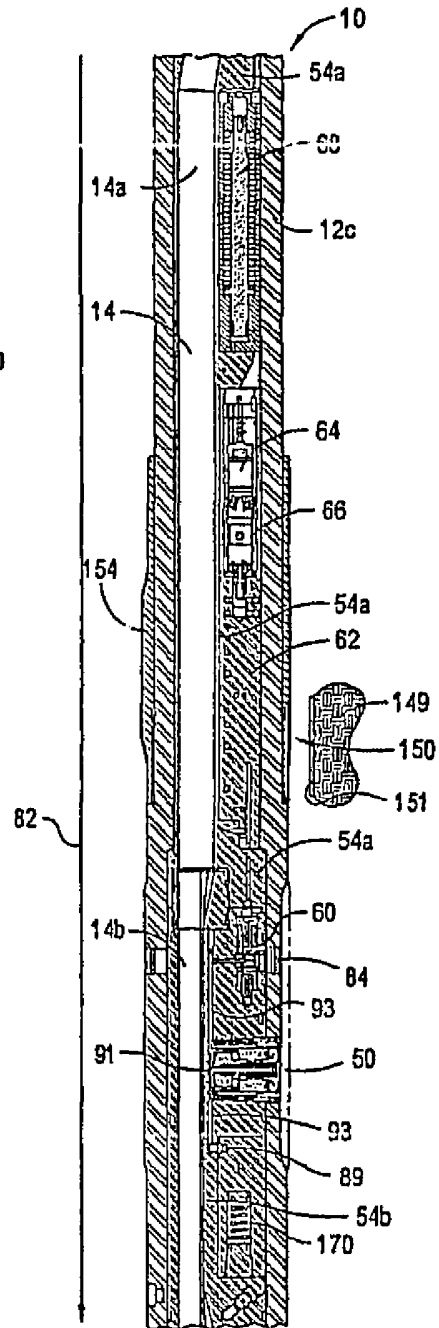
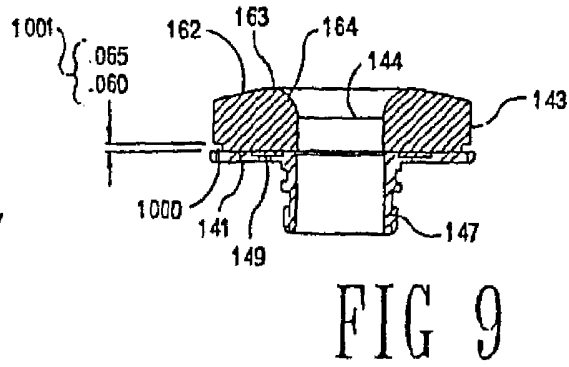
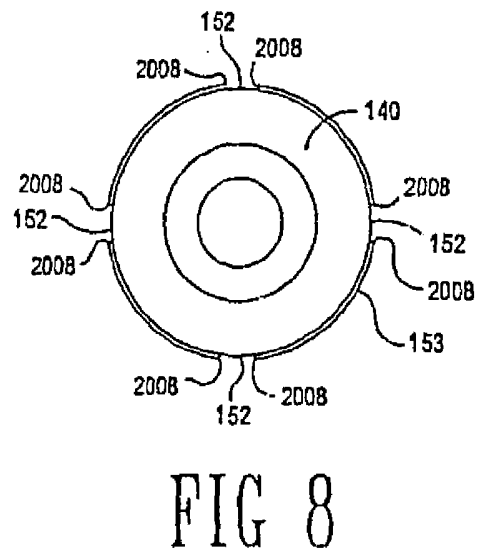
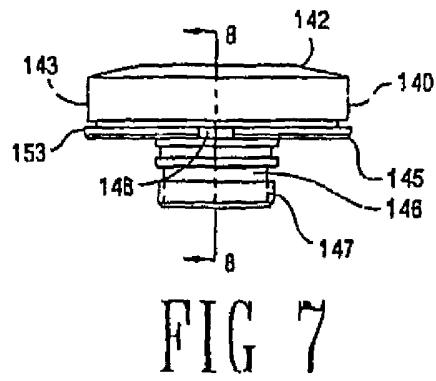
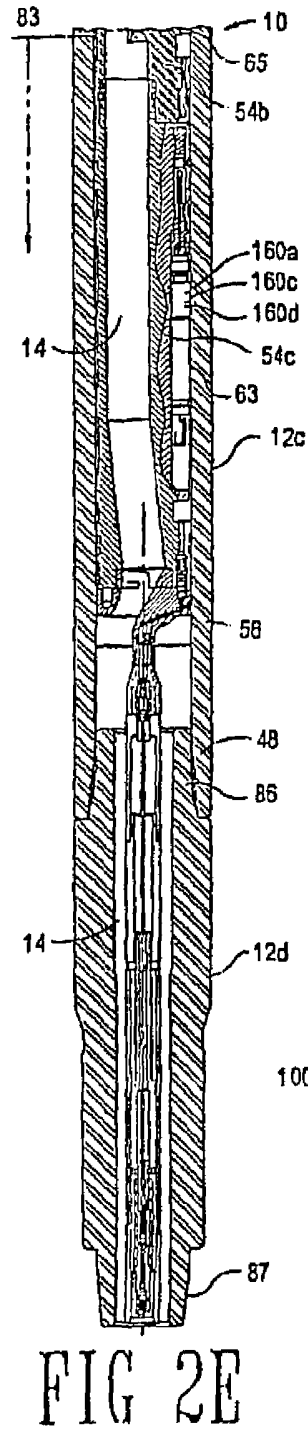


FIG 2D



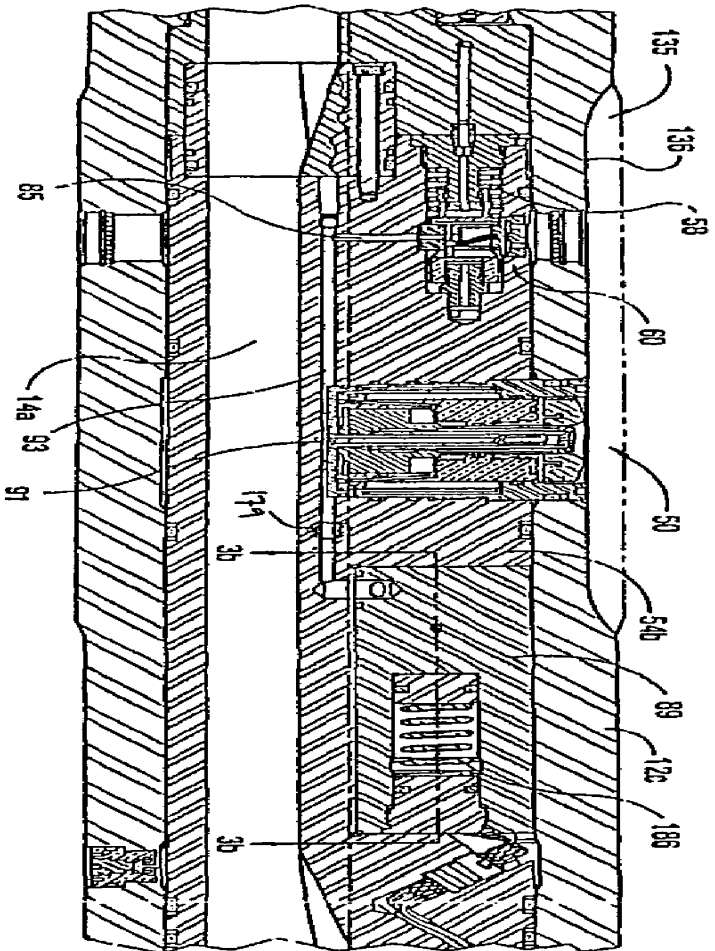


FIG 3

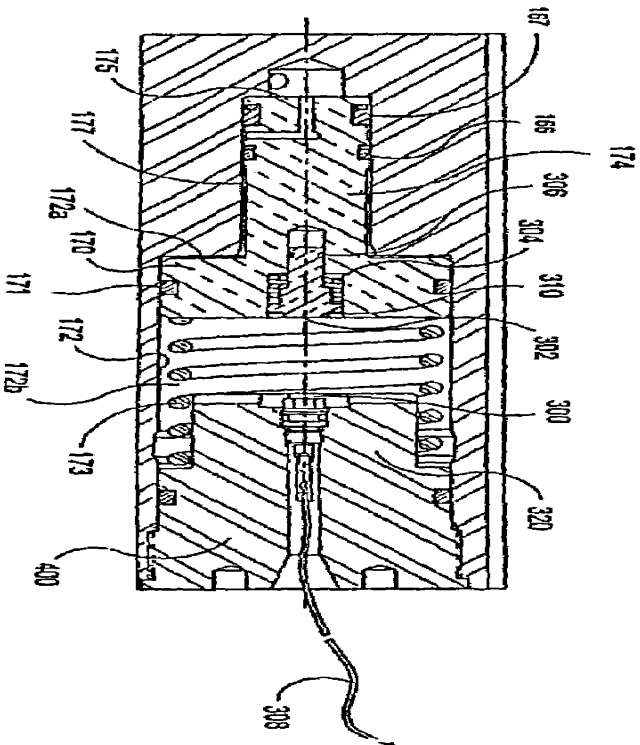


FIG 3A

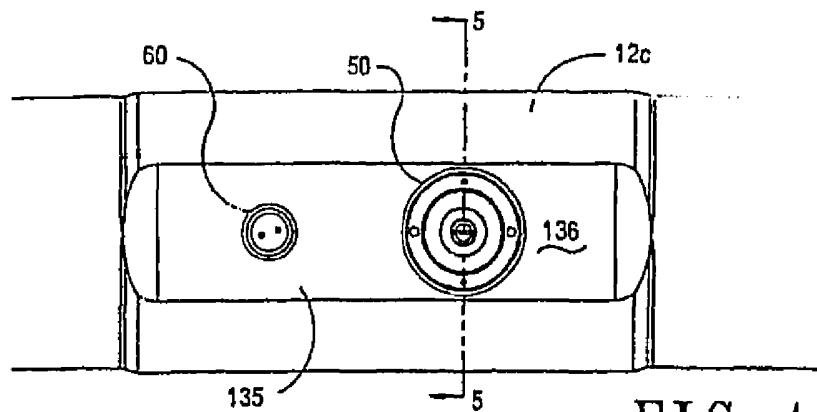


FIG 4

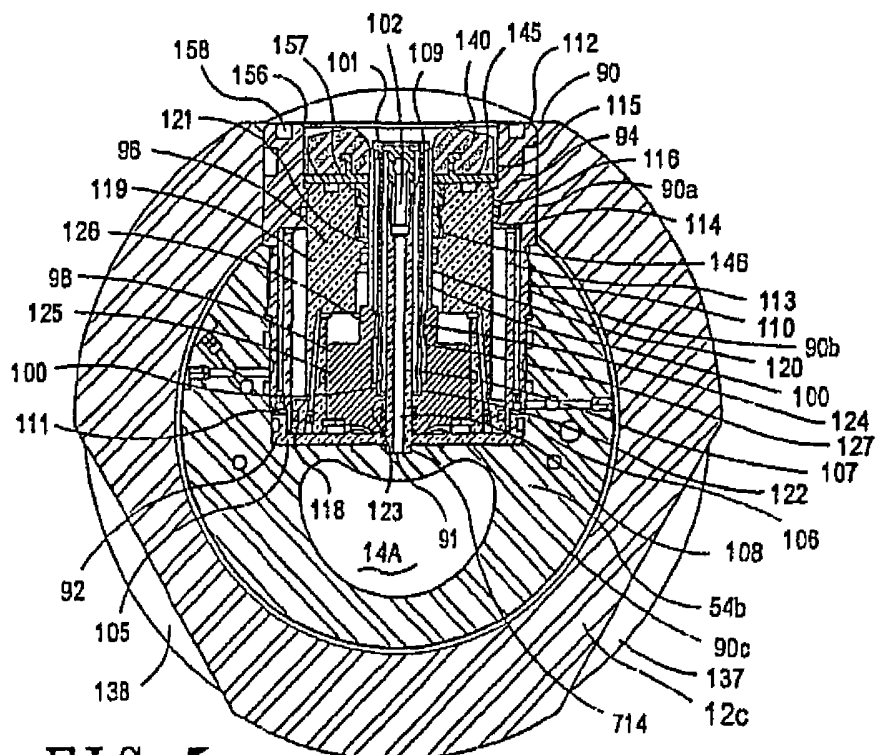


FIG 5

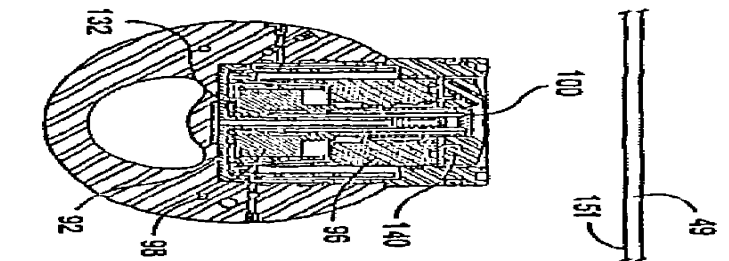


FIG 6A

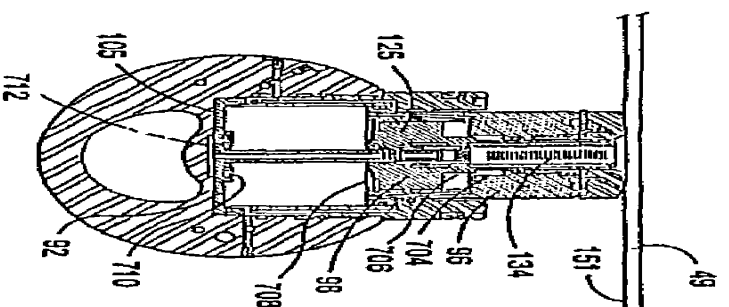


FIG 6B

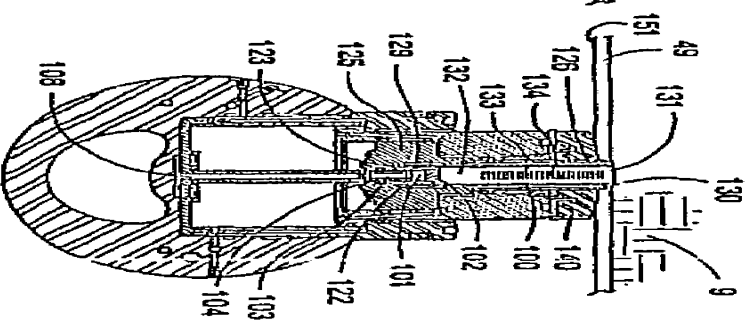


FIG 6C

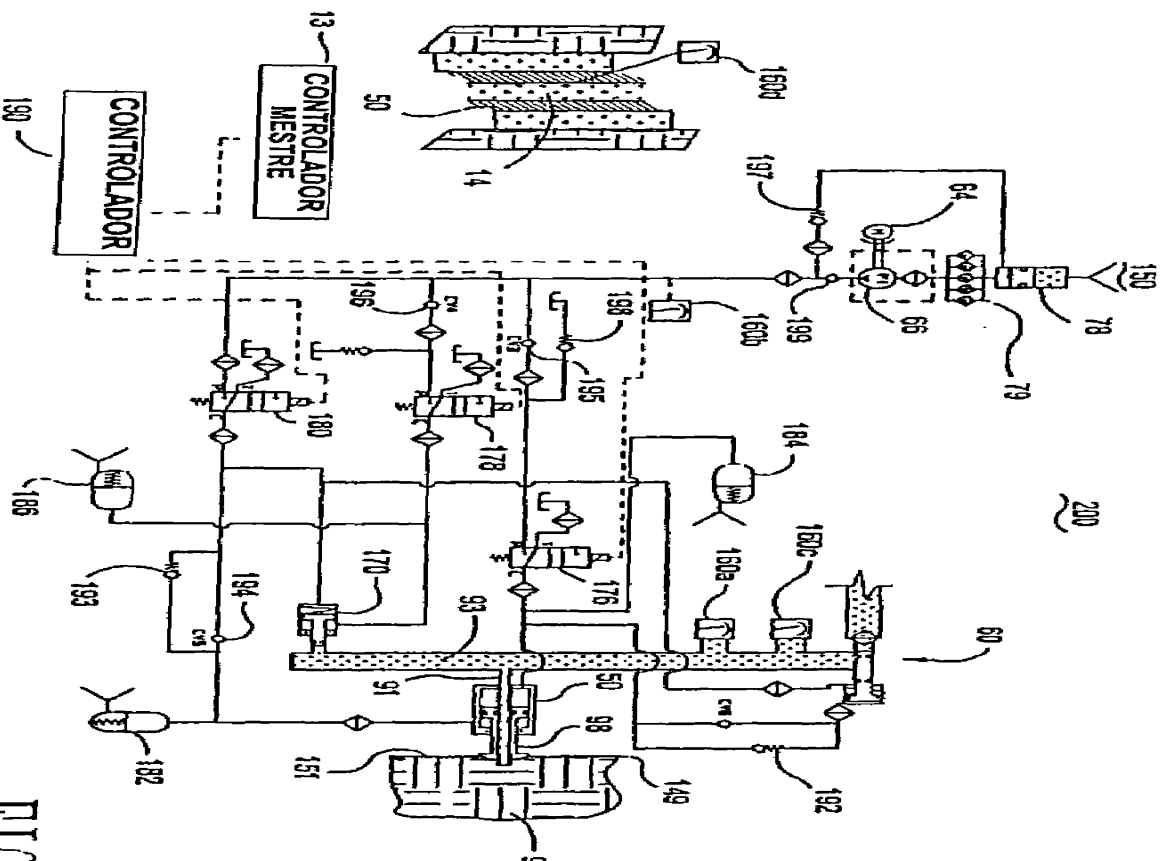


FIG 10

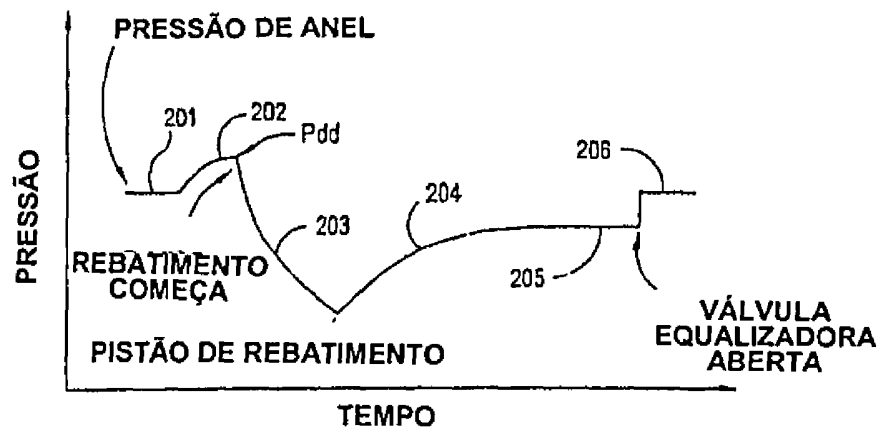


FIG 11

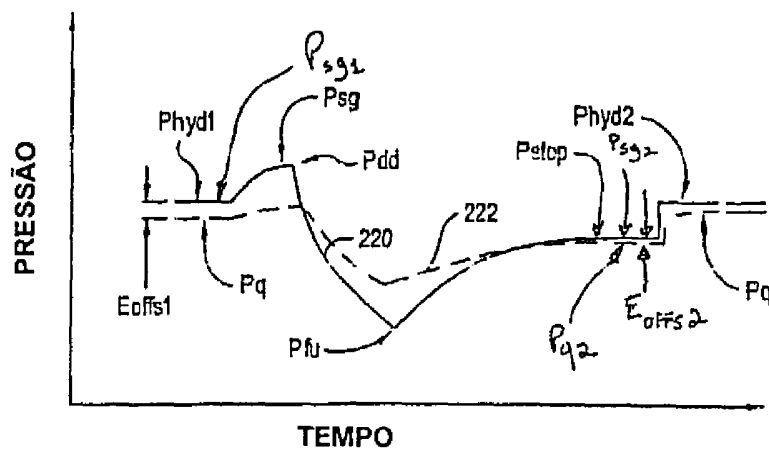


FIG 12

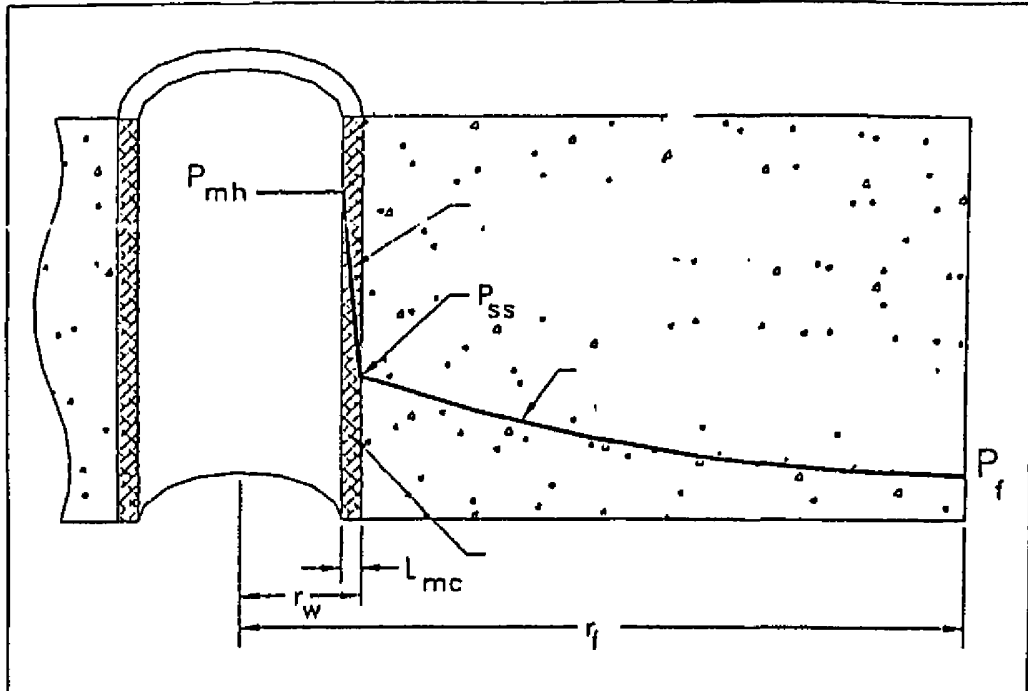


FIGURA 13

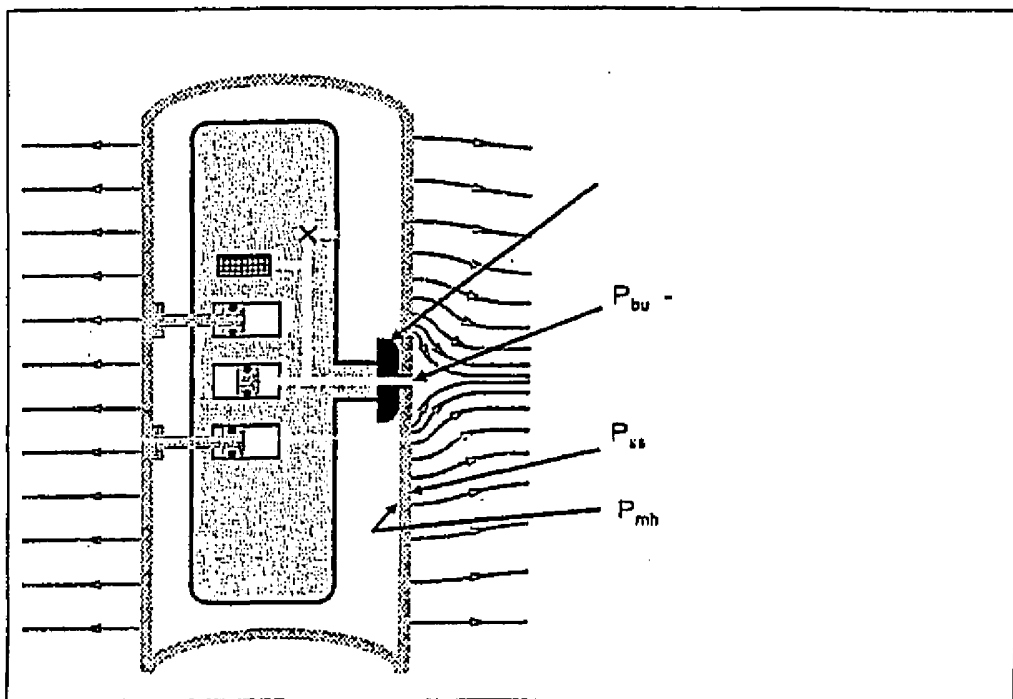


FIGURA 14

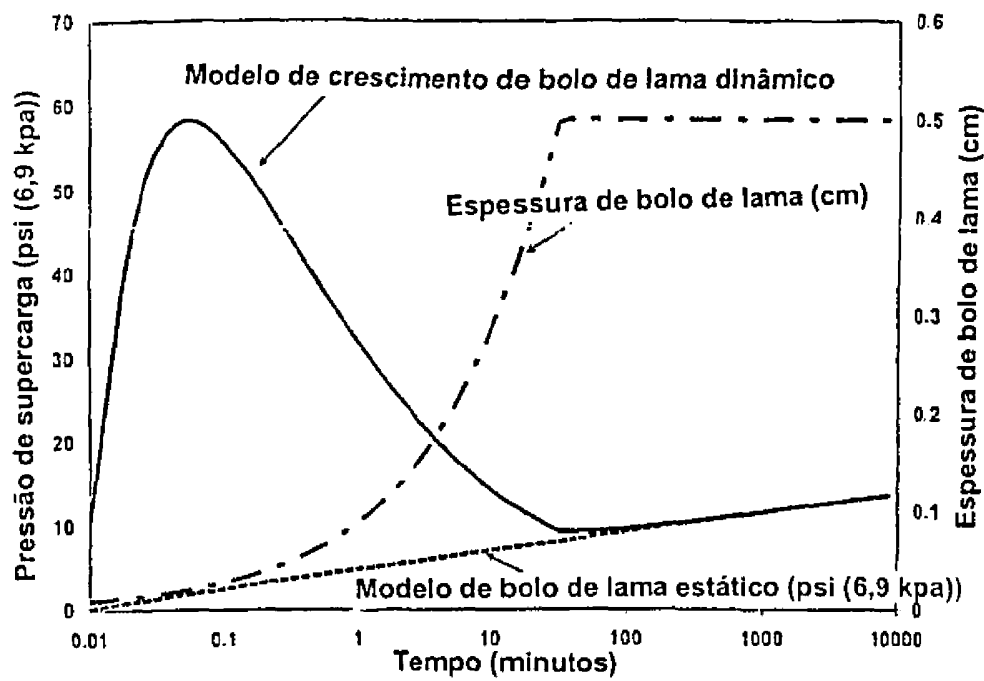


FIGURA 15

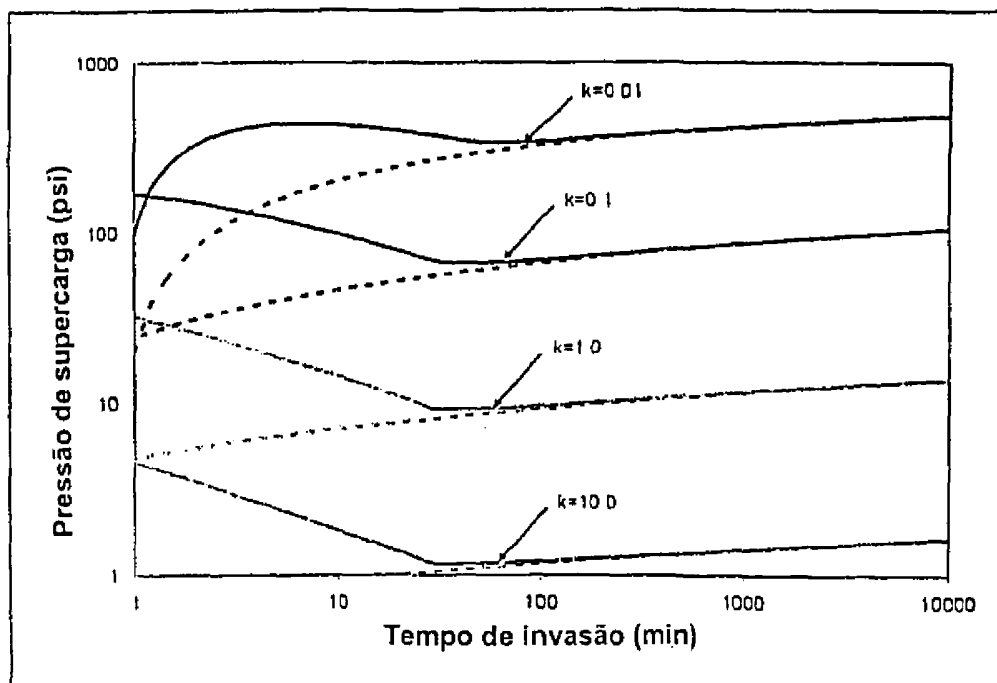


FIGURA 16

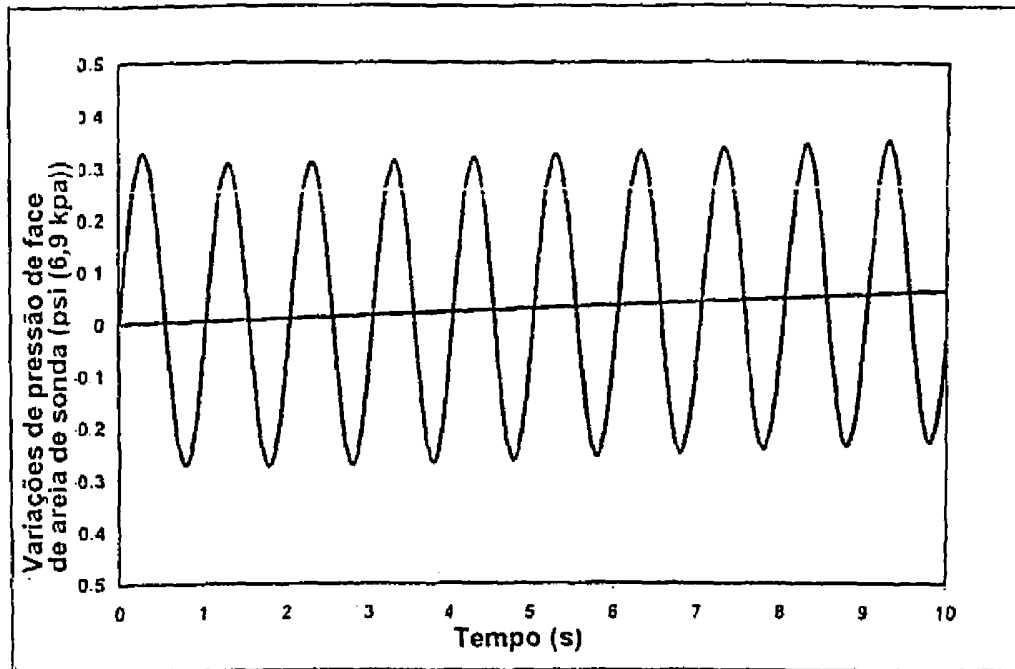


FIGURA 17