



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

(11) PI 0212430-0 B1

(22) Data do Depósito: 10/09/2002

(45) Data de Concessão: 02/05/2017



(54) Título: DISPOSITIVO DE PERFURAÇÃO PARA COMPENSAR AS MUDANÇAS NA DENSIDADE DE CIRCULAÇÃO DE LAMA EQUIVALENTE (ECD), OU PRESSÃO DINÂMICA, E MÉTODO PARA COMPENSAR A DENSIDADE DE CIRCULAÇÃO DE LAMA EQUIVALENTE (ECD), OU AUMENTO OU DIMINUIÇÃO DA PRESSÃO DINÂMICA

(51) Int.Cl.: E21B 21/08; E21B 43/36

(30) Prioridade Unionista: 10/09/2001 US 60/318,391

(73) Titular(es): OCEAN RISER SYSTEMS AS

(72) Inventor(es): BØRRE FOSSLI

**"DISPOSITIVO DE PERFURAÇÃO PARA COMPENSAR AS MUDANÇAS NA
DENSIDADE DE CIRCULAÇÃO DE LAMA EQUIVALENTE (ECD), OU
PRESSÃO DINÂMICA, E MÉTODO PARA COMPENSAR A DENSIDADE DE
CIRCULAÇÃO DE LAMA EQUIVALENTE (ECD), OU AUMENTO OU
5 DIMINUIÇÃO DA PRESSÃO DINÂMICA"**

A presente invenção se refere a um particular
dispositivo para uso quando da perfuração de poços de
petróleo e gás, a partir de estruturas em alto mar
10 (offshore) que flutuam na superfície da água em
profundidades tipicamente maiores que 500m acima do leito
do mar. Mais particularmente, a invenção descreve um
sistema de riser de perfuração (coluna de tubos de aço de
grande diâmetro que parte do convés do navio-sonda e desce
15 até o fundo do mar, onde é conectada com os equipamentos de
cabeça de poço submarina), disposto de tal modo que a
pressão no fundo de um furo submerso possa ser controlada
de um modo completamente novo e que a pressão do
hidrocarboneto da formação perfurada possa ser manipulada
20 de forma igualmente nova e segura no próprio sistema de
riser.

A presente invenção define um dispositivo
particularmente novo, o qual pode reduzir os custos de
perfuração em águas de oceano profundo e aperfeiçoar
25 acentuadamente a manipulação com segurança do gás
hidrocarboneto ou de líquidos que possam escapar da
formação abaixo da superfície, abaixo do leito do mar, e
depois ser bombeada da formação abaixo da superfície junto
com o fluido de perfuração, para a instalação de perfuração

que flutua na superfície do oceano. Ao se executar operações de perfuração com esse novo equipamento conforme reivindicado, será aberto um modo completamente novo de controle da pressão no fundo do poço, ao mesmo tempo em que
5 será possível, de forma segura e eficiente, se manusear os hidrocarbonetos no sistema de riser de perfuração. O dispositivo compreende o uso da técnica conhecida anteriormente, mas disposta de um modo tal que possam ser obtidos novos métodos de perfuração. Ao se dispor os
10 diversos sistemas acoplados ao riser de perfuração nesse modo em particular, métodos totalmente novos e nunca anteriormente usados podem ser executados com segurança em águas profundas. A invenção se refere a um sistema de perfuração em águas profundas e mais especificamente a um
15 dispositivo para uso na perfuração de poços de petróleo/gás, especialmente para poços em águas profundas, preferencialmente mais profundos que 500m de profundidade.

A experiência de operações de perfuração em águas profundas tem mostrado que as formações abaixo da
20 superfície a serem perfuradas normalmente têm uma resistência à fratura idêntica àquela da pressão causada por uma coluna de água do mar.

Na medida em que o furo se torna mais profundo, a diferença entre a formação da pressão do poro e a pressão
25 da fratura da formação permanece baixa. A margem baixa indica que tenham que ser colocadas freqüentes e múltiplas colunas de revestimento a fim de isolar as seções superiores da rocha que apresentam uma resistência inferior à da pressão hidráulica exercida pelo fluido de perfuração

que é utilizado para controlar as maiores pressões de formação mais profundas no poço. Além da pressão hidráulica estática que atua na formação, a partir de uma coluna de fluido estável no furo do poço, existem também as pressões dinâmicas criadas quando se faz circular o fluido através da broca de perfuração. Essas pressões dinâmicas que atuam no fundo do furo são criadas quando o fluido de perfuração é bombeado através da broca de perfuração e sobe pelo espaço anular, entre a coluna de perfuração e a formação. A magnitude dessas forças depende de diversos fatores, tais como, a reologia do fluido, a velocidade do fluido ao ser bombeado subindo o espaço anular, a velocidade de perfuração e as características do furo/poço. Particularmente para tamanhos de furo de diâmetro menores, essas forças dinâmicas adicionais se tornam significativas. Atualmente, essas forças são controladas mediante perfuração de furos relativamente grandes, mantendo, dessa forma, a velocidade anular do fluido de perfuração baixa e mediante ajuste reológico do fluido de perfuração. A fórmula para o cálculo dessas pressões dinâmicas é mencionada na descrição detalhada que se segue. Essa nova pressão, observada pela formação no fundo do furo, causada pelo processo de perfuração, é muitas vezes designada como Densidade de Circulação Equivalente (ECD - sigla em Inglês de Equivalent Circulating Density).

Em todas as operações de perfuração até o presente momento, em poços de águas profundas de alto mar, o fundo do poço irá observar a pressão hidrostática combinada exercida pela coluna de fluido a partir do navio-

sonda ou plataforma de perfuração para o fundo do poço, mais as pressões adicionais devido à circulação. Um riser de perfuração que conecta a cabeça de poço no leito do mar com o navio-sonda de perfuração contém esse fluido de perfuração. A pressão no fundo do furo para superar a pressão da formação, é regulada através do aumento ou diminuição da densidade dos fluidos de perfuração na perfuração convencional, até ter de se colocar um revestimento a fim de se evitar a fratura da formação.

10 A fim de se conduzir de forma segura uma operação de perfuração, deverá haver um mínimo de duas barreiras no poço. A primeira barreira será o fluido de perfuração no furo com suficiente densidade para controlar a pressão da formação, também no caso do riser de perfuração ser desconectado da cabeça do poço. Essa diferença na pressão causada pela diferença na densidade entre a água do mar e o fluido de perfuração pode ser substancial em águas profundas. A segunda barreira será a que previne explosões (conhecido como BOP - sigla em Inglês de Blowout Preventer), no caso da primeira barreira ser perdida.

20 Na medida em que o fluido de perfuração deve apresentar um peso específico tal, de modo a que o fluido permaneça no poço até que seja suficientemente pesado para controlar a formação quando o riser marinho de perfuração é desconectado, isso gera um problema quando a perfuração é feita em águas profundas. Isso é ponderado pelo fato de que o riser marinho se encontrará cheio de lama pesada quando estiver conectado ao preventor de explosão (BOP) do fundo do mar, causando uma maior pressão no fundo do furo que a

necessária para controlar a formação. Isso resulta na necessidade de colocar freqüentes revestimentos na parte superior do furo, uma vez que a formação não pode suportar o elevado peso da lama proveniente da superfície.

5 A fim de ser possível perfurar poços com um fluido de perfuração de maior densidade que a necessária, serão instalados múltiplos revestimentos no furo para isolamento de zonas fracas de formação.

10 As conseqüências da colocação de múltiplas colunas de revestimento implicará em que cada novo revestimento irá reduzir o diâmetro do furo. Conseqüentemente, a seção de topo deverá ser maior, a fim de que o poço seja perfurado com a profundidade planejada. Isso também significa que poços pequenos ou mais finos são
15 difíceis de construir com o presente método em águas profundas.

 Diversas citações do estado da técnica descrevem e sugerem métodos para solucionar e simplificar esse problema. Inicialmente, será explicado o sistema de
20 "perfuração de gradiente duplo".

 Referência é feita às Patentes U.S. Nos. 4.291.722, 4.813.495 e 6.263.981, como exemplos de publicações do estado da técnica que descrevem um sistema com um líquido de diferente densidade no riser (ou na água
25 do mar sem nenhum riser) do que a lama de perfuração, a qual é muito freqüentemente utilizada como fluido de perfuração e que é restituída a partir do furo do poço. A Patente U.S. No. 4.291.722 especifica o fluido mais leve como sendo água do mar, excluindo o uso de ar. A Patente

U.S. No. 4.291.722 descreve que o nível de líquido do riser de densidade mais leve está próximo ou perto do nível da água do mar e com uma interface de líquido/ar próxima ao nível do mar, acima de um BOP anular, que é colocado abaixo do nível do mar. O sistema da Patente U.S. No. 4.291.722 indica um riser de baixa pressão com linhas de alta pressão e estrangulamento convencionais, correndo em paralelo ao riser de perfuração, a partir de um BOP submerso até o navio-sonda de superfície. Assim, a Patente U.S. No. 4.291.722 proporciona um sistema de gradiente duplo.

Nos sistemas de gradiente duplo, líquidos de diferentes densidades estarão presentes no furo e no riser, assim sendo possível perfurar uma seção maior sem ter de colocar um novo revestimento. No entanto, em todos os sistemas explicados até o presente momento, existe um riser de baixa pressão convencional com linhas de alta pressão e de estrangulamento, deslocando-se de volta ao navio-sonda de superfície ou plataforma, a partir do BOP submarino. Isso dá origem a diversos problemas graves, no caso de ter de se manipular hidrocarbonetos e no caso de se manipular o "kick" (situação de intrusão de fluidos da formação no poço devido a um desequilíbrio a menor da pressão na coluna hidrostática, contra a pressão da formação ou causada pelo efeito de pistoneio na retirada de uma ferramenta) e o controle do poço.

É também feita referência às Patentes U.S. Nos. 4.091.881 e 4.063.602. Ambas publicações descrevem um gradiente "único" e um nível de líquido abaixo da superfície da água. A Patente U.S. No. 4.063.602 descreve

uma bomba de retorno de fluido instalada na parte inferior do sistema do riser de perfuração. O fluido de retorno do poço pode ser bombeado de volta à superfície através de uma linha ou conduto ou ser então descarregado no oceano, através de uma válvula de descarga. A válvula ou a bomba de retorno controlam o nível no riser. A presente invenção também reivindica detectar a pressão interior do riser por meio de um sinal elétrico.

A Patente U.S. No. 4.063.602 não apresenta um invólucro de contenção de pressão ou BOP de superfície, a fim de manipular situações severas de "kick" ou manipular produção contínua de gás a partir de formações abaixo da superfície, como durante condições de perfuração sob equilíbrio.

A Patente WO 99/18327 mostra um sistema com uma bomba montada em um riser, que se assemelha com a da Patente U.S. No. 4.063.602 montada em um riser convencional, com linhas de alta pressão e estrangulamento externas. O riser é aberto para a superfície e contém uma junta deslizante de baixa pressão entre o ponto onde a seção do riser é tensionada para o navio-sonda de perfuração e o próprio navio-sonda. A(s) bomba(s) é(são) montada(s) no exterior do riser de perfuração e a lama de retorno de perfuração irá ser bombeada através da bomba e encaminhada através das linhas de alta pressão e estrangulamento no exterior do riser de perfuração. Alguns dispositivos de instrumentação na seção do riser irão controlar o nível do riser. O nível será significativamente abaixo do navio-sonda e significativamente acima do leito

do mar.

Essa publicação do estado da técnica intenciona compensar o efeito da "margem do riser" em águas profundas. Tal publicação não faz qualquer menção aos efeitos
5 dinâmicos da operação de perfuração em si, tal como os efeitos da ECD, de surgência e pistoneio (pistoneio é um efeito causado por ação de um pistão que estimula o início do escoamento dos fluidos da formação).

A queda de nível no riser para um determinado
10 nível é descrita na Patente U.S. No. 4.063.602. Esta técnica anterior não pode ser usada para propósitos de sub-balanceamento, onde o riser de perfuração é usado para separação do gás, uma vez que o estado da técnica não menciona um sistema de contenção de pressão superficial que
15 possa ser usado para contenção da pressão do gás. Também, não incorpora o particular benefício obtido por não ter a necessidade de linhas de alta pressão e estrangulamento e desvio do riser de alta pressão em situações de controle do poço.

20 É então suscitada atenção para as Patentes U.S. Nos 5.848.656 e 5.727.640. Essas publicações mostram o benefício de se utilizar um BOP de superfície e um BOP submerso, de modo a eliminar o uso de linhas de alta pressão e estrangulamento externas convencionais no riser
25 de perfuração em grandes profundidades. A Patente U.S. No. 5.727.640 se refere a uma disposição de equipamento a ser usada quando na perfuração de poços de petróleo/gás, especialmente em poços de águas profundas e essa publicação fornece instruções de como utilizar a tubulação do riser

como parte de um sistema de alta pressão, junto com o tubo de perfuração, notadamente em que a disposição de equipamento compreende um dispositivo de prevenção de explosão de superfície (SURBOP), o qual é conectado a um
5 tubo de riser de alta pressão (SR), que, por sua vez, é conectado a um dispositivo de prevenção de explosão de poço (SUBBOP) e uma linha de circulação/alta pressão comunicando entre os ditos dispositivos de prevenção de explosão (SURBOP, SUBBOP), todos os quais sendo dispostos como um
10 sistema de alta pressão para perfuração de furos pequenos em águas profundas.

A Patente U.S. No. 5.848.656 se refere a um dispositivo para controle da pressão submarina, cujo dispositivo é adaptado para uso numa instalação de
15 perfuração, compreendendo um dispositivo de prevenção de explosão submarino e um dispositivo de prevenção de explosão de superfície, entre os quais é disposto um riser para comunicação, e com o propósito de definir um dispositivo em que o uso de linhas de estrangulamento e de
20 alta pressão possa ser evitado.

Os dois exemplos acima mencionados do estado da técnica, entretanto, não incorporam um método para ajustar e compensar o efeito da ECD. A fim de obter a compensação para o efeito da ECD, é necessário introduzir uma saída de
25 retorno do riser inferior e deixar cair o nível de líquido no riser. Isso é particularmente importante uma vez que um riser de alta pressão será por definição de diâmetro interno menor (tipicamente de 14" - 9") do que um riser de perfuração convencional (tipicamente de 21"- 16") e,

conseqüentemente, o efeito da ECD em um riser de alta pressão pode ser consideravelmente maior do que o convencional em um poço de águas profundas.

É dada atenção agora para as Patentes U.S. Nos. 4.046.191, 4.210.208 e 4.220.207. A linha de desvio ou
5 equalização de pressão, desviando no BOP de perfuração de modo a equalizar a pressão abaixo de um espaço fechado no BOP submarino dentro do riser de perfuração, é bem conhecida e descrita na literatura. Alguns circuitos de
10 equalização contêm válvulas hidráulicas de estrangulamento, enquanto outros sistemas definem válvulas fechadas/abertas.

Uma adicional atenção é suscitada para a Patente U.S. No. 6.415.677. Essa publicação se refere a um aparelho que utiliza uma bomba e a sucção de uma bomba para regular
15 e reduzir a pressão de fundo do furo no poço que está sendo perfurado. Na Patente U.S. No. 6.415.877, isso requer e especifica uma operação de perfuração desenvolvida através de um invólucro de contenção de pressão fechado em torno da coluna de revestimento no leito do mar.

20 Normalmente, não é possível controlar a pressão da superfície em uma operação de perfuração convencional, devido ao fato de que os fluidos de retorno do poço irão circular dentro de uma linha de fluxo aberta, à pressão atmosférica. A fim de obter o controle de pressão da cabeça
25 de poço, o fluido de retorno tem de ser encaminhado através de uma linha de fluxo fechada, por meio de um dispositivo de prevenção de explosão fechado para um manifold de estrangulamento. A vantagem de controlar a pressão do fundo do furo por meio do controle de pressão da cabeça de poço é

que a mudança de pressão na superfície resulta em uma resposta de pressão quase instantânea no fundo do furo quando um fluido de perfuração de fase única é usado. Em geral, a pressão de superfície deve ser mantida o mais baixo possível para se obter um ambiente mais seguro de trabalho para o pessoal que trabalha na sonda. Assim, é preferível controlar o poço mediante alterações de pressões no furo no maior grau possível. De modo convencional, isso pode ser executado por meio do controle da pressão hidrostática e controle da pressão de fricção no espaço anular.

O controle da pressão hidrostática é o principal significado do controle de pressão no fundo do furo em procedimentos de perfuração convencional. O peso da lama será ajustado de maneira a que o poço se disponha numa condição de excesso de desequilíbrio quando não ocorrer nenhuma circulação do fluido de perfuração. Caso necessário, o peso/densidade da lama pode ser modificado, dependendo das pressões de formação. No entanto, este é um procedimento demorado e requer a adição de produtos químicos e materiais de balanceamento na lama de perfuração.

O outro método de controle de pressão no fundo do furo é o controle da pressão de atrito. Velocidades de circulação elevadas geram pressão de atrito superiores e, por consequência, pressões superiores no fundo do furo. Uma mudança no regime da bomba irá resultar numa rápida modificação na pressão do fundo do furo (BHP - sigla em Inglês de Bottom Hole Pressure). A desvantagem de se

utilizar controle de pressão de atrito é que o controle é perdido quando a circulação do fluido de perfuração é interrompida. A perda da pressão por atrito é também limitada pelo máximo regime da bomba, pela capacidade nominal da bomba e pelo máximo fluxo descendente no conjunto do furo.

A única referência à neutralização dos efeitos da ECD é encontrada no artigo do SPE, IADC/SPE 47821. É feita referência nesse artigo ao documento de patente WO 99/18327.

O conjunto de citações mencionadas, bem como as citações individuais, são aqui incorporadas por meio de tais referências.

O estado da técnica apresentado acima apresenta diversas desvantagens. O objetivo da presente invenção é evitar algumas ou todas as desvantagens do estado da técnica.

A seguir, serão indicados alguns aspectos da presente invenção.

Em um de seus aspectos, a presente invenção numa combinação particular, proporciona o surgimento de novos métodos, praticamente possíveis e seguros de perfuração de poços em águas profundas, a partir de estruturas flutuantes. Nesse aspecto, são obtidos benefícios em relação ao estado da técnica com aperfeiçoada segurança. Mais precisamente, a invenção proporciona instruções de como controlar a pressão hidráulica exercida sobre a formação pelo fluido de perfuração no fundo do furo que está sendo perfurado, mediante variação do nível de líquido

no riser de perfuração.

Em outro aspecto, a invenção proporciona um particular benefício em situações de controle do poço (manipulação do "kick") ou para perfuração planejada de poços com pressão hidrostática de fluidos de perfuração inferior à da pressão da formação. Isso pode envolver uma produção contínua de hidrocarbonetos provenientes de formações subterrâneas que serão circulados para a superfície com o fluido de perfuração. Através da presente nova invenção, tanto a situação de "kick" como a manipulação de gás hidrocarboneto podem ser segura e efetivamente controladas.

Em ainda outro aspecto da presente invenção, o nível de líquido do riser será abaixado para uma profundidade substancialmente abaixo do nível do mar, com ar ou gás permanecendo no riser acima do dito nível.

Ao contrário dos sistemas de gradiente duplo do estado da técnica, um aspecto da presente invenção utiliza um sistema de gradiente de líquido único, preferencialmente, um fluido de perfuração (lama e/ou fluido de completação) com uma coluna de gás (ar) no topo.

Em ainda outro aspecto, a presente invenção apresenta a combinação de um dispositivo de contenção de pressão superficial ou sub-superficial (BOP). A presente invenção difere nesse sentido da Patente U.S. No. 4.063.602, na medida em que se incluem as seguintes características: um riser de alta pressão com uma pressão integral suficientemente alta para suportar uma pressão igual à pressão máxima da formação que se espera encontrar

no terreno abaixo da superfície, tipicamente de 3000 psi (200 bar) ou superior a isso; o riser é terminado em ambas extremidades por um sistema de contenção de alta pressão, tal como um dispositivo de prevenção de explosão (BOP); uma
5 saída do riser para um sistema de bombeamento submarino, típica e substancialmente abaixo do nível do mar e substancialmente acima do leito do mar, o qual contém uma válvula de estrangulamento da pressão de retorno ou da pressão que não retorna; o dispositivo de prevenção de
10 explosão submarino apresenta um circuito de equalização (desvio) que irá equilibrar a pressão abaixo e acima de um BOP submarino fechado, em que o circuito de equalização conecta o poço submarino com o riser; o circuito apresenta pelo menos uma e, de preferência, duas válvulas
15 controláveis a partir da superfície.

Poderá existir pelo menos uma linha de estrangulamento na parte superior do riser de perfuração, de capacidade nominal igual ou maior de pressão que o riser de perfuração.

20 Ao incorporar as características acima, será obtido um sistema de funcionamento de poço que poderá seguramente executar operações de perfuração. A linha de equalização poderá ser usada em uma situação de controle do poço, quando e no caso de um grande influxo de gás tiver de
25 ser circulado para fora do poço.

Na presente invenção o riser de alta pressão e um tubo de perfuração de alta pressão podem ser dispostos entre o dispositivo de prevenção de explosão submarino e o dispositivo de prevenção de explosão de superfície, de tal

modo que possam ser usados como linhas separadas de alta pressão, como um substitutivo para a linha de estrangulamento e linha de alta pressão.

Em ainda outro aspecto, a presente invenção
5 incorpora esse circuito de equalização em combinação com um nível de interface líquido/ar mais baixo que o normal no riser para fins de controle do poço. Essa característica pode ser combinada com um nível particularmente baixo do fluido de perfuração no riser. O poço pode não ser fechado
10 no BOP de superfície durante a perfuração com um nível baixo de fluido de perfuração no riser, uma vez que pode demorar muito até que uma grande quantidade de ar seja comprimida ou o nível de líquido no riser não se eleve com a rapidez suficiente para prevenir uma grande quantidade de
15 influxo ser dirigida para dentro do poço se ocorrer uma situação de intrusão ("kick"). Conseqüentemente, de acordo com um aspecto da presente invenção, o poço é fechado no BOP submarino. Entretanto, uma vez que é utilizado um riser de alta pressão sem quaisquer linhas de alta pressão e de
20 estrangulamento provenientes do BOP submarino para a superfície, o circuito de desvio é incluído a fim de se ter a possibilidade de circular um grande influxo após o BOP submarino fechado, dentro do riser de alta pressão. Se tal influxo for gasoso, esse gás pode ser drenado através da
25 linha de estrangulamento, dentro ou sob o BOP fechado de superfície, enquanto o líquido é bombeado para cima através do conduto de retorno do riser inferior, pela saída de retorno do riser inferior. Estes conduto e saída de retorno do riser inferior apresentam preferencialmente uma "trava

de gás" na forma de um tubo em U, abaixo das bombas de retorno submarinas, que irá prevenir a parte substancial do gás ser sugada para dentro do sistema de bombeamento. Se apenas uma pequena quantidade de gás hidrocarboneto estiver
5 presente no riser de perfuração, será instalado um compressor de ar/gás na linha de fluxo normal sobre a superfície, que irá sugar o ar de dentro do riser de perfuração, criando uma pressão abaixo da pressão atmosférica acima do riser. O compressor irá descarregar o
10 ar/gás para a lança do queimador ou outros suspiros de segurança de gás sobre a plataforma. Em ainda outro aspecto, o nível de líquido (lama de perfuração) é mantido relativamente próximo à saída e a pressão de gás é quase igual à pressão atmosférica, resultando numa separação da
15 maior parte do gás no riser. O riser, nesse contexto da invenção, se tornará uma câmara de separação de gás.

Em ainda outro aspecto da invenção, o circuito de desvio em combinação com a saída de retorno do riser inferior, irá também proporcionar o surgimento de muitos
20 outros úteis e aperfeiçoados métodos de situação de "kick", testes da formação e procedimentos de contingência. Em consequência, essa combinação é uma característica singular da presente invenção.

Em ainda outro aspecto da presente invenção, a
25 pressão do fundo do furo é regulada sem a necessidade de um elemento de contenção fechado de pressão, em volta da coluna de perfuração, em qualquer lugar do sistema. A contenção da pressão será apenas necessária em uma situação de controle de poço ou se estiver sendo executada uma

perfuração previamente planejada sob equilíbrio. A presente invenção especifica como a pressão de fundo do furo pode ser regulada durante uma operação normal de perfuração e como os efeitos da ECD podem ser
5 neutralizados.

A presente invenção apresenta a singular combinação de um sistema de riser de alta pressão e um sistema com barreiras de pressão, tanto na superfície como sobre o leito do mar, que coexiste com a combinação de um
10 sistema de retorno de baixo nível. A invenção proporciona a possibilidade de compensar os efeitos de aumento de pressão (surgência) e diminuição de pressão (pistoneio) da tubulação de processamento dentro do poço ou da tubulação de tracionamento para fora do poço, além de, e ao mesmo
15 tempo, compensar as pressões dinâmicas do processo de ECD de circulação. A invenção, nesse aspecto, se refere a como esse controle será executado.

Em um de seus aspectos, a presente invenção supera muitas desvantagens de outras tentativas e atende à
20 presente necessidade mediante fornecimento de métodos e dispositivos, pelo que o nível de fluido no riser de alta pressão pode ser descido abaixo do nível do mar e ajustado de tal modo que a pressão hidráulica no fundo do furo possa ser controlada mediante medição e ajuste do nível de
25 líquido no riser, de acordo com os requisitos do processo de perfuração dinâmica. Devido à natureza dinâmica do processo de perfuração, o nível de líquido não permanecerá uniforme em um nível determinado, mas irá ser constantemente variado e ajustado pelo sistema de controle

de bombeamento. O nível de líquido pode ser qualquer entre o nível normal de retorno no navio-sonda de perfuração, acima do BOP de superfície ou na profundidade da saída da seção de retorno do riser inferior. Nesse modelo, a pressão
5 do fundo do furo é controlada com a ajuda do sistema de retorno do riser inferior. Um sistema de controle de pressão controla a velocidade da bomba de elevação de lama submarina e manipula ativamente o nível no riser, de modo que a pressão no fundo do poço será controlada conforme
10 requerido pelo processo de perfuração.

As disposições de equipamento e métodos da presente invenção representam ainda em outro aspecto um novo, rápido e mais seguro modo de regular e controlar pressões no fundo do furo quando da perfuração de poços de
15 petróleo e gás em alto mar. Com os métodos aqui descritos, é possível se regular a pressão no fundo do poço sem alterar a densidade do fluido de perfuração. A faculdade de controlar pressões no fundo do poço, simultaneamente e com mesmo equipamento sendo capaz de conter e seguramente
20 controlar a pressão de hidrocarboneto na superfície, tornam a presente invenção e o sistema de riser aspectos completamente novos e singulares. A combinação irá tornar o processo de perfuração mais versátil e proporcionar espaço para novos e aperfeiçoados métodos de perfuração, com
25 pressões no fundo do furo inferiores à pressão na formação, como numa perfuração de desequilíbrio a menor.

O nível de interface líquido/ar pode ser também usado para compensar as forças de atrito no fundo do poço, durante a cimentação do revestimento e também compensar os

efeitos de surgência e pistoneio, quando se processar o revestimento e/ou tubo de perfuração dentro ou fora do furo, enquanto, ao mesmo tempo, continuamente ocorre a circulação. Para demonstrar isso, o nível no espaço anular
5 será inferior quando do bombeamento através do tubo de perfuração e até o espaço anular, do que seria quando não ocorrer circulação no poço. De modo similar, o nível será superior ao estático quando do tracionamento da broca de perfuração e montagem do fundo do furo fora do furo aberto
10 para compensar o efeito de pistoneio ao se impulsionar para fora de um furo apertado.

O método de variar a altura do fluido pode também ser usado para aumentar a pressão no fundo do furo, ao invés de se aumentar a densidade da lama. Normalmente, na
15 medida em que a perfuração se aprofunda nas formações, a pressão do poro irá também variar. Em operação de perfuração convencional, a densidade da lama de perfuração tem de ser ajustada. Isso é uma etapa demorada e dispendiosa, uma vez que os aditivos têm de ser adicionados
20 ao inteiro volume de circulação. Usando o sistema "LRRS" (sigla em Inglês de Low Riser Return System - sistema de retorno do riser inferior), a densidade pode permanecer a mesma durante o inteiro processo de perfuração, dessa forma, reduzindo o tempo da operação de perfuração e
25 reduzindo os custos de operação.

Ao contrário do estado da técnica, o nível no riser pode ser baixado, ao mesmo tempo em que o peso da lama é aumentado, de modo a reduzir a pressão no topo da seção perfurada, enquanto a pressão no fundo do furo é

aumentada. Desse modo, é possível se reduzir a pressão em formações mais fracas, mais acima no furo e compensar as pressões elevadas do poro no fundo do furo. Portanto, é possível girar a linha de gradiente de pressão da lama de perfuração em torno de um ponto fixo, por exemplo, o leito do mar ou a sapata da coluna de revestimento.

A vantagem é que se uma inesperada alta pressão for encontrada numa profundidade do poço e a formação acima da superfície da sapata da coluna de revestimento não puder suportar um nível de retorno do riser superior ou uma densidade superior do fluido de perfuração no presente nível de retorno, isso poderá ser compensado pela queda do nível no riser posteriormente, enquanto se aumenta o peso da lama. O efeito combinado será uma pressão reduzida na sapata superior da coluna de revestimento, enquanto, ao mesmo tempo, se obtém uma pressão mais alta no fundo do furo sem exceder a pressão da fratura abaixo do revestimento.

Outro exemplo da capacidade desse sistema é perfurar de forma acentuada as formações exauridas, sem precisar tornar o fluido de perfuração gasoso, espuma ou outro fluido mais leve que de sistemas de perfuração com água. Um poro pressurizado de peso específico 0,7 pode ser neutralizado mediante um nível baixo de líquido com água do mar de peso específico 1,03. Essa possibilidade dá origem a grandes vantagens quando da perfuração em campos exauridos, uma vez que reduzindo a pressão da formação original de peso específico de 1,10 para 0,7 por produção, pode também dá origem à reduzida pressão de fratura da formação, a qual

não pode ser perfurada com água do mar da superfície. Através da presente invenção a pressão do fundo do furo exercida pelo fluido no furo do poço pode ser regulada para níveis substancialmente abaixo da pressão hidrostática da água. Usando os dispositivos de perfuração do estado da
5 técnica, serão requeridos sistemas especiais de fluido de perfuração, com gases, ar ou espuma. Através da presente invenção, isso pode ser alcançado mediante simples sistemas de fluido de perfuração de água do mar.

10 No entanto e além disso, o sistema pode ser usado para criar condições de desequilíbrio a menor e a seguramente perfurar formações exauridas de um modo mais seguro e eficiente do que ajustando radicalmente a densidade do fluido de perfuração, como na prática
15 convencional. A fim de se conseguir tal objetivo e de se perfurar de modo seguro e efetivo, o aparelho deve ser projetado de acordo com a presente invenção. Os resultados econômicos obtidos são provenientes da nova combinação de acordo com a presente invenção.

20 O sistema pode ser usado para perfuração convencional com um BOP de superfície com retorno para o navio-sonda ou instalação de perfuração, conforme a prática normal, com muitos benefícios adicionados em águas profundas. O BOP submarino pode ser acentuadamente
25 simplificado quando comparado ao estado da técnica, onde existe apenas um BOP submarino. Na presente invenção, o BOP submarino pode ser tornado menor que o convencional, uma vez que uma menor quantidade de revestimento é necessária no poço. Igualmente, uma vez que diversas funções, tais

como o dispositivo de prevenção anular e pelo menos uma gaveta de tubo são movidos para o BOP de superfície no topo do riser de perfuração acima do nível do mar, o sistema total é menos dispendioso e irá também ser aberto para
5 novos e aperfeiçoados procedimentos de controle de poço. Além disso, não existe mais necessidade para linhas externas de alta pressão e estrangulamento da superfície para o BOP submarino, como nos sistemas de perfuração convencionais. Ao se dispor de um dispositivo de prevenção
10 de explosão de superfície no topo do riser de perfuração, todos os hidrocarbonetos podem seguramente ser extraídos através do sistema de manifold de linhas de estrangulamento da sonda de perfuração.

Outro aspecto da presente invenção inclui um
15 circuito ou dispositivo formador de uma "barreira água/gás" no sistema de circulação abaixo da bomba elevadora de lama submarina, que irá prevenir que grandes quantidades de gases hidrocarbonetos proporcionem uma invasão dentro do sistema de retorno da bomba. A altura da seção da bomba
20 pode facilmente ser ajustada, uma vez que pode ser processada em um conduto separado, dessa forma, ajustando a altura do dispositivo tipo barreira de água. Ao impedir o gás hidrocarboneto de entrar no conduto de retorno, a bomba de retorno de lama submarina irá operar de modo mais
25 eficiente e a velocidade com que o fluido de retorno é bombeado até o conduto pode ser controlada de maneira mais precisa.

Durante operação normal o riser de perfuração será, preferencialmente, mantido aberto para a atmosfera,

de modo que qualquer vapor proveniente de hidrocarbonetos do poço será ventilado no riser de perfuração. Um compressor de ar irá sugar ar/gás do topo do riser de perfuração para a lança do queimador ou outros suspiros de
5 ventilação de segurança na instalação de perfuração e criar uma pressão abaixo da pressão atmosférica no topo do sistema do riser de perfuração. Uma vez que a pressão no riser de perfuração na linha de saída de retorno do riser inferior será próxima àquela da pressão atmosférica e
10 substancialmente abaixo da pressão na linha de retorno da bomba, a maior parte do gás será separada do líquido. Se uma grande quantidade de gases for liberada da lama de perfuração no riser, o BOP de superfície terá de ser fechado e o gás drenado através da linha de estrangulamento
15 (58) para o sistema de manifold de estrangulamento (não mostrado) na sonda de perfuração. Uma cabeça rotativa pode ser instalada sobre o BOP de superfície e, conseqüentemente, o sistema de riser poderá ser usado para perfuração contínua sob condições de desequilíbrio a menor
20 e o gás poderá ser manipulado seguramente por também apresentar elementos de extração dispostos no sistema de BOP de superfície. Conseqüentemente, esse sistema pode ser usado para propósitos de perfuração de desequilíbrio a menor e pode também ser usado para perfuração de zonas
25 altamente exauridas, sem necessidade de lama aerada ou espumada. Essa disposição de equipamento irá tornar a função do riser como um eliminador de gás ou separador de primeiro estágio em uma situação de perfuração de desequilíbrio a menor ou próxima do equilíbrio. Isso pode

economizar espaço no lado superior, uma vez que a maior parte do gás já se encontra separada, e o fluido de retorno se apresenta com pressão atmosférica na superfície, significando que o fluido de retorno pode ser encaminhado para o separador de gás/lama convencional da sonda ou "degaseificador Poor-Boy" da bomba de elevação de lama submarina. Para casos extremos, o fluido de retorno das bombas de retorno de lama submarina deve ser encaminhado através do manifold de estrangulamento na sonda de perfuração ou no escaler de auxílio ao navio-sonda, ao lado da sonda de perfuração.

Ao se utilizar esse novo método e aparelho de perfuração, podem ser obtidas grandes economias de custo e aperfeiçoada segurança no poço, ao se comparar com métodos de perfuração convencional. A presente invenção irá mitigar os efeitos adversos do estado da técnica, ao mesmo tempo em que abre perspectivas para novos e nunca antes possíveis operações em águas profundas.

No caso do surgimento de uma situação de desequilíbrio a menor, pelo que a pressão da formação é maior que a pressão exercida pelo fluido de perfuração, e o fluido da formação é inesperadamente introduzido dentro do poço, então, o poço pode ser controlado imediatamente com os dispositivos e métodos da presente invenção, mediante simples levantamento do nível de fluido no riser de alta pressão. Alternativamente, o poço pode ser fechado com o BOP submarino. Com a ajuda da linha de desvio no BOP submarino, o influxo pode ser circulado para fora do poço e dentro do riser de alta pressão, sob constante pressão do

fundo do furo igual à pressão da formação. O gás potencial que irá separar o nível de líquido/gás (próximo à pressão atmosférica) no riser será ventilado e controlado com o BOP de superfície.

5 O riser dos dispositivos da presente invenção preferencialmente não possui linhas de alta pressão ou de estrangulamento, o que é contrário ao que é normal para maioria dos risers marinhos. Ao invés disso, o espaço anular entre o tubo de perfuração e o riser se torna a
10 linha de estrangulamento e o tubo de perfuração se torna a linha de alta pressão, quando necessário, quando o BOP submarino é fechado. Isso irá acentuadamente aumentar a capacidade do operador em manipular pressões inesperadas ou outras situações de controle do poço.

15 Os dispositivos e métodos da presente invenção, irão, em um modo novo e específico, tornar possível controlar e regular a pressão hidrostática exercida pelo fluido de perfuração nas formações abaixo da superfície. Será possível dinamicamente regular a pressão do fundo do
20 furo mediante abaixamento do nível para uma profundidade abaixo do nível do mar. As pressões do fundo do furo podem ser alteradas sem modificar o peso específico do fluido de perfuração. Agora, será possível perfurar um poço inteiro sem alterar a densidade do fluido de perfuração, muito
25 embora a pressão do poro da formação esteja se modificando. É também possível regular a pressão do fundo do furo de tal modo que a mesma possa compensar pressões adicionadas devido às forças de atrito do fluido que atuam no furo do poço, durante o bombeamento e circulação da lama/fluidos de

perfuração através de uma broca de perfuração, até o espaço anular entre o furo/revestimento aberto e o tubo de perfuração.

A invenção é também particularmente adequada para
5 uso com dispositivo de tubagem espiralado e operações de perfuração com tubagem espiralada. A presente invenção irá também ser especificamente utilizável para geração de condições de "desequilíbrio a menor", em que a pressão hidráulica no furo do poço é abaixo daquela da formação e
10 abaixo daquela da pressão hidrostática da água do mar na formação.

Conseqüentemente, tendo um diferente baixo nível de líquido no poço/riser e uma baixa pressão de gás no furo de poço/riser, os quais na soma equilibram a pressão da
15 formação, será não apenas possível perfurar em equilíbrio a partir de sondas flutuantes, como também para um especialista versado na técnica, abrir um completo novo conjunto de possibilidades que podem não ser alcançados em águas rasas ou na terra.

20 Uma vez que o riser de perfuração pode ser desconectado de um BOP submarino fechado, pode ser mais seguro realizar a perfuração em desequilíbrio a menor do que em outras instalações que não apresentam essa combinação. A razão é que também a pressão de gás no riser
25 é bastante baixa e irá fazer com que a coluna de perfuração seja considerada como uma "tubulação pesada" em todas os instantes, excluindo a necessidade de se perfurar ou manobrar o equipamento contra a pressão ("snubbing") ou de cunhas invertidas de "tubulação leve" na operação de

perfuração. Se a pressão construída na fase gás/ar não puder ser mantida baixa, uma redução na pressão do riser poderá ser obtida mediante fechamento do BOP submarino e tomando o retorno através do circuito de equalização, dessa
5 forma, reduzindo a pressão no riser. Isso se baseia no fato de que a pressão de atrito do fluido que circula em diâmetro reduzido do circuito de equalização irá aumentar a pressão do fundo do furo, conseqüentemente, será obtida uma pressão reduzida no riser de perfuração.

10 A presente invenção apresenta uma solução que permite a perfuração controlada de um processo, de uma maneira segura e prática.

Estes e outros aspectos da presente invenção serão facilmente evidentes para aqueles especialistas na
15 técnica, a partir de um exame da seguinte descrição detalhada de uma modalidade preferida, em conjunto com os desenhos e reivindicações em anexo. Os desenhos mostram na:

- Figura 1 um panorama esquemático do dispositivo;
- Figura 2 um diagrama esquemático de um detalhe parcial do
20 dispositivo da figura 1;
- Figura 3 um diagrama esquemático de um detalhe parcial do dispositivo da figura 2;
- Figura 4 um detalhe esquemático do uso de um dispositivo de tracionamento a ser usado junto com o dispositivo da
25 figura 1;
- Figura 5 um fluxograma do sistema de controle de processo de ECD (ou no interior do poço)
- Figura 6 um diagrama ilustrando os benefícios do método aperfeiçoado de perfuração e produção em formações

exauridas; e na

- Figura 7 um diagrama ilustrando os benefícios dos efeitos dos métodos aperfeiçoados de controle das pressões hidráulicas em um poço que está sendo perfurado.

5 Na descrição detalhada seguinte, tomada em conjunto com os desenhos anexos, as partes equivalentes recebem a mesma referência numérica.

A figura 1 ilustra uma plataforma de perfuração (24). A plataforma de perfuração (24) pode ser uma unidade
10 de perfuração flutuante móvel ou uma instalação ancorada ou fixa. Entre o fundo do mar (25) e a plataforma de perfuração (24) se estende um riser de alta pressão (6), em que um dispositivo de prevenção de explosão submarino (4) é colocado na extremidade inferior do riser (6) no fundo do
15 mar (25) e um dispositivo de prevenção de explosão de superfície (5) é conectado à extremidade superior do riser de alta pressão (6), acima ou próximo ao nível do mar (59). O BOP de superfície apresenta linhas de alta pressão e de estrangulamento (58, 57), que são conectadas ao manifold de
20 estrangulamento de alta pressão na sonda de perfuração (não mostrado). O riser (6) não necessita de linhas externas de alta pressão e estrangulamento se estendendo do BOP de superfície para a superfície. O BOP de superfície (5) apresenta um conduto de desvio menor (50) (tipicamente de
25 ID (diâmetro interno) de 1-4"), que irá comunicar o fluido entre o furo do poço abaixo do dispositivo de prevenção de explosão fechado (4) e o riser (6). A linha de desvio (linha de equalização) (50) torna possível equalizar a pressão entre o furo do poço e o riser de alta pressão (6),

quando o BOP estiver fechado. A linha de desvio (50) apresenta pelo menos uma, preferencialmente, duas válvulas controláveis a partir da superfície (51, 52).

O dispositivo de prevenção de explosão (4) é, por sua vez, conectado a uma cabeça de poço (53) no topo de um revestimento (27), se estendendo descendentemente dentro de um poço.

No sistema de riser de alta pressão, uma seção de riser (2) do sistema de retorno do riser inferior (LRRS - Low Riser Return System), pode ser colocada em qualquer local ao longo do riser de alta pressão (6), formando uma parte integral do riser.

Próximo à extremidade inferior do riser de alta pressão (6), um elemento de contenção de pressão de fechamento do riser (49) se encontra incluído, a fim de fechar o riser e circular no riser de alta pressão para limpeza de quaisquer detritos, lama de barro gelatinosa ou gás sem alterar a pressão do fundo do furo no poço. Além disso, é também possível limpar o riser (6) após o mesmo ser desconectado do BOP submarino (4) sem derramamento para o oceano.

Entre a plataforma/navio-sonda (24) e o riser de alta pressão (6) é instalado um sistema de tensionamento de riser, o qual é esquematicamente indicado pela referência numérica (9).

O riser de alta pressão inclui um sensor de pressão superior remoto (10a) e um sensor de pressão inferior (10b). O sinal emitido pelo sensor é transmitido para o navio-sonda (24), por exemplo, através de um cabo

(20), de forma eletrônica ou por meio de fibras óticas, ou ainda por meio de ondas de rádio ou sinais acústicos. Os dois sensores (10a) e (10b) medem a pressão no fluido de perfuração em dois diferentes níveis. Uma vez que a
5 distância entre os sensores (10a) e (10b) é predeterminada, a densidade do fluido de perfuração pode ser calculada. Um sensor de pressão (10c) é também incluído no BOP submarino (4), para controlar a pressão quando o BOP submarino (4) for fechado.

10 O riser de alta pressão (6) é uma estrutura tubular de alta pressão e de furo único e, ao contrário dos sistemas de riser tradicionais, não existe necessidade de linhas de circulação separadas (linhas de alta pressão e de estrangulamento) ao longo do riser, a serem usadas para
15 controlar a pressão na eventualidade de petróleo e gás inesperadamente surgirem no furo de poço (26). A alta pressão é no contexto da presente invenção suficientemente elevada para conter as pressões das formação abaixo da superfície, tipicamente, 3000 psi (197,38 atm) ou pressões
20 mais elevadas.

Incluído no sistema de riser de alta pressão se encontra a seção do sistema de retorno do riser inferior (LRRS) (2), a qual pode ser instalada em qualquer local ao longo da extensão do riser, a colocação dependendo do furo
25 a ser perfurado e da profundidade da água do mar na localização. A seção de riser (2) contém uma válvula de alta pressão (38) de igual ou maior capacidade nominal que do riser (6) e que pode ser atuada através da mesa rotativa na sonda de perfuração.

A figura 1 também mostra uma coluna de perfuração (29) com uma broca de perfuração (28) instalada no poço. Próximo à base da coluna de perfuração (29), dentro da coluna, se encontra uma válvula de regulação de pressão (56). A válvula (56) possui a capacidade de prevenir o **deslocamento** (a tubagem) em U do fluido de perfuração dentro do riser (6) quando o bombeamento for interrompido. Essa válvula é de um tipo que irá abrir sob uma determinada pressão e permanecer aberta acima dessa pressão, sem causar perda significativa de pressão no interior da coluna de perfuração, uma vez aberta com uma determinada vazão através da válvula.

Um compressor de ar (70) é conectado ao riser (6), acima do BOP de superfície (6). O compressor (70) é capaz de proporcionar uma pressão sub-atmosférica no interior do riser (6). O ar, que pode conter alguma quantidade de hidrocarboneto, pode ser levado para a lança do queimador ou outro suspiro de segurança.

Incluído na seção de riser (6) se encontra uma linha de injeção (41), que corre de volta para o navio-sonda/plataforma (24). Essa linha (41) possui uma válvula remotamente operada (40) que pode ser controlada a partir da superfície. A entrada para o riser (6), a partir da linha (41), pode ser em qualquer local do riser (6). A linha (41) pode se estender em paralelo às linhas do sistema de bombeamento de retorno do riser inferior, o que será explicado a seguir.

A seção de riser LRRS (2) inclui uma saída de retorno (42) do fluido de perfuração, compreendendo pelo

menos uma válvula de saída (38) do riser de alta pressão e um **conector de ligação hidráulico** (39). O **conector de ligação hidráulico** (39) liga o sistema de bombeamento de retorno do riser inferior (1) ao riser de alta pressão (6).

5 O sistema de bombeamento de retorno do riser inferior inclui um conjunto de bombas de retorno (7a) e (7b) do fluido de perfuração. As bombas são conectadas ao conector (39) através de uma caixa de lama/detritos (8), um **mandril** do LRRS (36) e uma mangueira de sucção de retorno
10 (31) de fluido de perfuração, com uma válvula sem retorno controlável (37). Um conduto de descarga (15) de fluido de perfuração, conecta as bombas (7a e 7b) aos sistemas de manipulação de fluido de perfuração (não mostrado) na plataforma (24). Conforme mostrado na figura 4, o topo do
15 conduto de retorno (15) do fluido de perfuração é terminado em um conjunto de suspensão de riser (44), onde uma saída de retorno (42) do fluido de perfuração promove a interface do sistema geral de manipulação de fluido de perfuração na plataforma (24).

20 O sistema de bombeamento (1) é mostrado em maiores detalhes na figura 2.

As válvulas de alta pressão (11a, 11b) no lado de sucção das bombas (7a, 7b) e válvulas de alta pressão (14a, 14b) e válvulas sem retorno (13a, 13b) no lado da descarga
25 das bombas (7a, 7b), controlam a entrada e saída do fluido de perfuração para as bombas de retorno (7) do fluido de perfuração.

A caixa de lama e detritos (8) inclui um determinado número de bocais de jato (22) e uma linha de

lançamento de jato e descarga de retorno (21) com válvulas (12) para quebrar o tamanho de partículas na caixa (8).

O **mandril** do LRRS (36) inclui uma porta de entrada (16) de fluido de perfuração e uma porta de saída (35) da bomba de fluido de perfuração. Uma junta cônica sob
5 tensão (3a) é fixada a cada uma das extremidades do **mandril** do LRRS (36).

Como melhor mostrado na figura 2, as bombas de retorno de lama (7a, 7b) são atuadas por energia umbilical
10 (19) ou por linhas de água do mar de um sistema hidráulico.

O percurso do fluido para a linha de retorno do fluido de perfuração vai da saída (42), através da mangueira (31), para o **mandril** (36), saindo através da porta de entrada (16) do fluido de perfuração e entrando na
15 caixa de lama gelatinosa (8). As bombas se encontram bombeando o fluido da caixa de lama gelatinosa (8), para fora, através da porta de saída (35) da bomba de lama e para dentro do conduto (15) de fluido de perfuração e de volta para a plataforma (24).

20 Uma válvula/bloco divisor (33) é instalada no **mandril** do LRRS (36), atuando como um tampão de fechamento entre a sucção da bomba de retorno de lama e os lados de descarga. A válvula/bloco divisor (33) pode ser aberta de modo a amortecer os detritos dentro da caixa de lama (8),
25 para esvaziar o conduto de retorno (15), após prolongada interrupção do bombeamento. Uma linha de desvio (69) com válvulas (32) pode se desviar das válvulas sem retorno (13), quando a válvula (61) é fechada, tornando possível alimentar por gravidade a lama de perfuração proveniente do

conduto de retorno (15) dentro do riser (6) para fins de enchimento do riser. Consequentemente, existem duas **(três)** possibilidades de enchimento do riser:

- 1) a partir do topo do riser;
- 5 2) através da linha de injeção (41) e através da linha de desvio (69);
- 3) **através da linha de desvio (69).**

Nesse modelo de sistema, a linha de injeção (41) deve também ser percorrida ao longo do conduto de retorno e
10 conectada ao riser na válvula (40) com um veículo submarino operado por controle remoto (ROV - sigla em Inglês de Remote Operated Vehicle) e/ou à linha de desvio (69).

O LRRS (1) é protegido dentro de um conjunto de elementos de estrutura formando uma estrutura de
15 amortecimento.

Ao controlar a saída das bombas (7a, 7b), o nível de lama (30) (a interface entre o fluido de perfuração e o ar no riser (6)) no riser de alta pressão (6) pode ser controlado e regulado. Em consequência, a pressão no furo
20 do fundo (26) irá variar, podendo, dessa forma, ser controlada.

A figura 3 mostra ainda em maiores detalhes a parte inferior do sistema de bombeamento (1). O nível do tanque de lama gelatinosa ou outros detritos (8) é
25 controlado por um conjunto de sensores de nível (17a, 17b), conectados a uma linha de controle de lama/detritos (18), que retorna ao navio-sonda ou plataforma (24).

É feito referência agora à figura 4. Na plataforma ou navio-sonda (24), é instalada uma estrutura

de manipulação (43) para o conduto de descarga (15) do fluido de perfuração. O LRRS (sistema de retorno do riser inferior) (1) é estendido dentro do mar mediante o conduto de descarga (15) do fluido de perfuração ou mediante um
5 cabo, até alcançar a profundidade aproximada da seção do riser do LRRS (2). O sistema pode também ser percorrido a partir de um navio-sonda adjacente (não-mostrado), estacionado ao longo da plataforma de perfuração principal (24).

10 Um mecanismo de tracionamento será agora descrito com referência à figura 4. Fixado à extremidade da mangueira de sucção (31) do fluido de perfuração se encontra um cabo de tracionamento (47) operado por um guindaste de tracionamento de levantamento compensado (48).
15 O cabo de tracionamento (47) corre através de uma unidade de tracionamento de mangueira de sucção (46a) e uma roldana ou polia (46). A extremidade da mangueira de sucção (31) é tracionada na direção do conector hidráulico (39) para engate com o conector (39), através do mecanismo de
20 tracionamento (46, 47, 48).

A mangueira de sucção (31) do fluido de perfuração pode ser feita a partir de material neutro flutuante, mediante elementos flutuantes (45).

O sistema de controle para determinação da ECD
25 (Densidade de Circulação Equivalente) e cálculo do idealizado levantamento ou abaixamento da interface líquido/gás no riser (6) será agora descrito com referência à figura 5.

A pressão no furo do fundo é a soma de cinco

componentes:

$$P_{bh} = P_{hyd} + P_{fric} + P_{wh} + P_{sup} + P_{swp}$$

onde:

P_{bh} = pressão no fundo do furo;

5 P_{hyd} = pressão hidrostática;

P_{fric} = Pressão de atrito;

P_{wh} = pressão da cabeça do poço;

P_{sup} = pressão de surgência devido ao abaixamento do tubo dentro do poço;

10 P_{swp} = pressão de pistoneio devido ao tracionamento do tubo para fora do poço.

Dispositivos de controle de pressão no fundo do poço controlam esses cinco componentes.

A Densidade de Circulação Equivalente (ECD) é a
15 densidade calculada a partir da pressão do fundo do poço (P_{bh}).

$$\rho_E \cdot g \cdot h = P_{bh} \quad (1)$$

onde:

ρ_E = Densidade de Circulação Equivalente (ECD) (kg/m^3);

20 g = constante da gravidade;

h = profundidade vertical total (m).

Para um fluido Newtoniano, a pressão no espaço anular pode ser calculada como segue, supondo nenhuma pressão na cabeça do poço e nenhum efeito de surgência ou
25 de pistoneio:

$$P_{bh} = \rho_m \cdot g \cdot h + \{ [128 \cdot \eta \cdot L_1 \cdot Q] / [\eta^2 \cdot (D_0 - d_{ds})^3 \cdot (D_0 - d_{ds})^2] \} \quad (2)$$

Para um fluido de Bingham é usada a seguinte fórmula:

$$P_{bh} = \rho_m \cdot g \cdot h + \{ [128 \cdot \eta \cdot L_1 \cdot Q] / [\pi^2 \cdot (D_0 - d_{ds})^3 \cdot (D_0 - d_{ds})^2] + [16 \cdot \tau_0 \cdot L_1 / 3 \cdot (D_0 - d_{ds})] \} \quad (3)$$

onde:

ρ_m = densidade do fluido de perfuração que está sendo usado;

η = viscosidade do fluido de perfuração;

L_1 = extensão da coluna de perfuração;

Q = vazão do fluido de perfuração;

D_0 = diâmetro do furo do poço;

d_{ds} = diâmetro da coluna de perfuração;

g = constante da gravidade;

h = profundidade vertical total;

τ_0 = limite de escoamento do fluido de perfuração.

A figura 5 representa uma ilustração dos parâmetros usados para calcular a ECD/pressão dinâmica e a altura (h) do fluido de perfuração no riser de perfuração marinho, usando o sistema de retorno de riser inferior (LRRS) e sistema de bombeamento por elevação.

A partir da equação (4) (Fluido Newtoniano), se observa que a fim de se manter a pressão do fundo do furo (P_{bh}) constante, um aumento na vazão (Q) requer que a cabeça hidrostática (h) seja reduzida.

$$P_{bh} = \rho_m \cdot g \cdot h + \{ [128 \cdot \eta \cdot L_1 \cdot Q] / [\pi^2 \cdot (D_0 - d_{ds})^3 \cdot (D_0 - d_{ds})^2] \} + P_{sup} + P_{swp} \quad (4)$$

A expressão para cálculo da pressão de pistoneio e surgência não é mostrada na Equação (4). No entanto, quando da movimentação da coluna de perfuração dentro de um poço, irá ocorrer um aumento adicional de pressão (P_{sup}) devido ao efeito de pistoneio. A fim de compensar esse

efeito, a cabeça hidrostática (h) e/ou a vazão (Q) teriam de ser reduzidos.

5 Ao se movimentar a coluna de perfuração para fora do poço, irá ocorrer uma queda de pressão (P_{swp}) devido ao efeito de surgência. A fim de compensar esse efeito, a cabeça hidrostática (h) e/ou a vazão (Q) teriam de ser aumentados.

10 Os efeitos de pistoneio e surgência são como descrito acima, um resultado do movimento da coluna de perfuração. Esse movimento não é causado apenas devido à operação de manobra, mas também devido a um movimento do navio-sonda quando a coluna de perfuração não é compensada, isto é, execução e frenagem dos trens da coluna de perfuração.

15 A figura 5 mostra um fluxograma para ilustrar os parâmetros de acesso para o dispositivo conversor indicado acima, para controle da pressão no fundo do poço (BHP - sigla em inglês de "Bottom Hole Pressure"), usando o riser de retorno inferior e o sistema de bombeamento de elevação
20 (LRRS) descritos acima.

Dentro do dispositivo conversor (100), é colocado um conjunto de parâmetros. As dimensões do poço e do tubo (101), que são evidentemente conhecidas desde o início, mas que podem variar dependendo da escolha do diâmetro e
25 extensão do revestimento na medida em que a perfuração prossegue, da velocidade da bomba de lama (102), que, por exemplo, pode ser medida mediante um sensor em cada bomba, do movimento da tubulação e trabalho de extração (direção e

velocidade) (103), que também podem ser medidos através de um sensor que, por exemplo, é colocado no guindaste principal do trabalho de extração e das propriedades do fluido de perfuração (viscosidade, densidade, limite de escoamento, etc.) (104).

Os parâmetros (101, 102, 103, 14) são introduzidos como valores no dispositivo conversor (100).

Parâmetros adicionais, tais como, pressão do fundo do furo (105), que pode ser o resultado de leituras de sistemas conhecidos como "Measurements While Drilling" (MWD) (Medições durante a Perfuração), peso real da lama (densidade) (106) no riser de perfuração, preferencialmente resultando de cálculos baseados em medições feitas pelos sensores (10a e 10b), conforme explicado acima, etc., podem também ser coletados antes da necessária cabeça hidroestática (h) ser calculada (nível de interface entre o fluido de perfuração e o ar), de modo a obter a pressão idealizada do fundo do poço.

A cabeça hidroestática necessária (h) é introduzida em um dispositivo comparador/regulador (108).

O nível de fluido (h') no riser é continuamente medido e esse parâmetro (107) é comparado com a cabeça hidroestática calculada (h) no dispositivo comparador e/ou regulador (108). A diferença entre esses dois parâmetros é usada pelo dispositivo comparador/regulador (108) para calcular o necessário aumento ou diminuição da velocidade da bomba e gerar sinais (109) para as bombas, de modo a obter uma apropriada vazão que irá resultar numa cabeça

hidrostática (h).

A introdução e cálculos acima podem ocorrer continuamente ou intermitentemente, para garantir uma aceitável cabeça hidrostática em todos os instantes.

5 Com referência às figuras 6 e 7, alguns dos efeitos da presente invenção em relação à pressão serão agora explicados. Nas figuras, o eixo vertical representa a profundidade do nível do mar, com aumento da profundidade descendentemente nos diagramas. O eixo horizontal
10 representa a pressão. No lado esquerdo, a pressão é a pressão atmosférica, aumentando para a direita.

Na figura 7, a linha (303) é o gradiente de pressão hidrostática da água do mar. A linha (306) é o gradiente estimado de pressão do poro da formação. Na
15 perfuração convencional, o gradiente do peso da lama (305) indica que um revestimento (310) tem de ser estabelecido, a fim de permanecer entre a pressão esperada do poro e a resistência da formação - a resistência da formação nesse ponto sendo indicada pela referência numérica (309) - na
20 base do último revestimento (315). Ao se perfurar com um dispositivo e método de acordo com a presente invenção, o gradiente da lama pode ser mais alto, conforme indicado pela linha (310), o que significa que pode ser feita uma perfuração mais profunda.

25 Entretanto, se a pressão do poro, indicada pela referência (312), no mesmo ponto, exceder a pressão esperada, indicado pela referência (311), poderá ocorrer uma situação de "kick" (situação de intrusão de fluidos da formação no poço devido a um desequilíbrio a menor da

pressão na coluna hidrostática, contra a pressão da formação ou causada pelo efeito de pistoneio quando da retirada de uma ferramenta). Através do método da presente invenção, o nível pode ser ainda baixado para (302) e o peso da lama ainda aumentado. O resultado líquido é uma diminuição de pressão na sapata do revestimento (309), com um aumento da pressão próximo ao fundo do furo, conforme indicado em (307), tornando possível executar a perfuração antes ainda de colocar um revestimento.

Desse modo, é possível se reduzir a pressão em formações de intensidade fraca acima do furo e compensar pressões de poro superiores no fundo do poço. Portanto, é possível girar a linha do gradiente de pressão da lama de perfuração em torno de um ponto fixo, por exemplo, o leito do mar ou uma sapata de revestimento.

Outro exemplo da capacidade do presente sistema é mostrado na figura 6. Nessa situação, uma formação acentuadamente exaurida (210) deverá ser perfurada. A formação foi exaurida a partir de uma pressão em (205), na qual foi possível perfurar usando um fluido de perfuração ligeiramente mais pesado que a água do mar (peso específico 1,03) como fluido de perfuração, com um gradiente de pressão mostrado em (203). O gradiente da fratura da formação exaurida é agora reduzido para (211), que é inferior ao gradiente de pressão da água do mar da superfície, conforme indicado pela linha (201).

Através da presente invenção, a perfuração pode ser feita sem necessidade de reduzir substancialmente a densidade do fluido de perfuração e sem ter de transformar

o fluido de perfuração em gás, espuma ou outro fluido mais leve que os sistemas de perfuração com água, conforme mostrado pelo gradiente de pressão (214).

5 Ao introduzir uma coluna de ar na parte superior do riser, o nível superior do fluido de perfuração pode ser baixado para um nível (202). No caso mostrado, pode ser usado um fluido de perfuração com o mesmo gradiente de pressão que a água do mar (201), mas partindo de um ponto substancialmente inferior, conforme mostrado em (202).

10 Um poro pressurizado de peso específico 0,7, pode ser neutralizado por meio de um baixo nível de líquido com água do mar de peso específico 1,03, conforme mostrado pela referência (202). Essa capacidade dá origem a grandes vantagens quando da perfuração em campos exauridos, uma vez

15 que a redução da pressão original da formação de peso específico 1,10 em (205) para peso específico 0,7 em (210), por produção, pode também dá origem a uma reduzida pressão de fratura de formação, mostrada em (211), a qual não pode ser perfurada com água do mar de superfície, conforme

20 mostrado em (201). Através da presente invenção, a pressão do fundo do furo exercida pelo fluido no poço pode ser regulada substancialmente para um valor abaixo da pressão hidrostática da água. Utilizando os dispositivos de perfuração do estado da técnica, isso iria requerer

25 especiais sistemas de fluidos de perfuração com gases, ar ou espuma. Utilizando a presente invenção, isso pode ser obtido com um simples sistema de fluido de perfuração de água do mar.

Deve ser observado como evidente, que diversas

alterações poderão ser feitas nas diversas partes constituintes da invenção sem que seja afastado o espírito e escopo da mesma e que as modalidades detalhadas não devem ser consideradas como limitativas, tendo sido apresentadas apenas como ilustração. Outras variações, sem dúvida, irão ocorrer para aqueles especialistas versados na técnica, após o estudo da descrição detalhada e desenhos aqui contidos. Conseqüentemente, deve ser entendido que a presente invenção não está limitada às modalidades específicas aqui descritas, devendo ser julgadas como estendidas à matéria definida pelas reivindicações anexas, incluindo todas as práticas equivalentes da mesma.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de perfuração para compensar as mudanças na densidade de circulação de lama equivalente
5 (ECD), ou pressão dinâmica em um furo anular em um poço resultante de atividades de perfuração durante perfuração submarina em grandes profundidades de água, caracterizado pelo fato de compreender:

um riser de perfuração (6) de alta pressão que se
10 prolonga de uma cabeça de poço **(53)** do leito marinho a próximo à superfície; um BOP de superfície **(5)** na extremidade superior do riser de perfuração (6), o BOP de superfície **(5)** tendo uma linha de alta pressão superior **(57)**;

15 uma saída submarina (42) em comunicação com o interior do riser (6) em um ponto acima da cabeça de poço do leito marinho; um conduto de retorno de fluxo que processa de volta para a superfície; um sistema de bombeio suspenso acima do leito marinho e ligando referida saída
20 submarina (42) ao referido conduto de retorno de fluxo;

uma válvula **(38)** adaptada para isolar o riser (6) do sistema de bombeio;

conversores de mudanças na pressão no referido riser (6) a uma mudança equivalente na altura do fluido de
25 perfuração no riser (6); **ajustadores** da taxa da bomba de referido sistema de bombeio de acordo com a diferença da altura do fluido de perfuração no referido riser (6) e referida mudança equivalente na altura do fluido de perfuração; ajustando, desse modo, a altura do fluido de
30 perfuração no riser de perfuração (6) de modo a neutralizar as mudanças na pressão no referido furo anular criada por referidas atividades de perfuração pela variação da quantidade atual do fluido de perfuração no riser (6);

e um dispositivo de fechamento submarino (4) no

leito marinho, o dispositivo de fechamento (4) tendo pelo menos uma linha de desvio (50) que proporciona comunicação entre o poço abaixo do dispositivo de fechamento (4) e o interior do riser (6), a linha de desvio (50) contendo pelo menos uma válvula de fechamento (51,52).

2. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado em que a saída de drenagem de gás é conectada a uma linha de estrangulamento (57, 58) em comunicação com um manifold de tubulação de estrangulamento de alta pressão no navio-sonda de perfuração (24).

3. Dispositivo, de acordo com as reivindicação 1, caracterizado em que o sistema de bombeamento com linha de retorno de fluxo é adaptado para ser lançado e processado com o riser (6).

4. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender ainda uma linha de enchimento acoplada ao riser (6), substancialmente abaixo do nível do mar e acima de referida saída do leito marinho, a linha de enchimento sendo adaptada para encher o riser com um gás ou líquido.

5. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado em que o gás é um gás inerte para deslocamento do ar acima do fluido de perfuração.

6. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender ainda uma válvula no conduto de retorno de fluxo e uma caixa de coleta de partículas (8) na linha de retorno de fluxo, a válvula sendo adaptada para abertura e fechamento da comunicação entre a caixa de coleta de partículas (8) e o conduto de retorno de fluxo.

7. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado em que a caixa de coleta de partículas (8) se encontra pendurada subjacente ao sistema de bombeamento, e
5 a caixa de coleta de partículas (8) apresentando meios de recirculação e jateamento para rompimento do tamanho de partícula, para evitar o acúmulo de partículas.

8. Método para compensar a densidade de circulação
10 de lama equivalente (ECD), ou aumento ou diminuição da pressão dinâmica em um furo anular em um poço durante perfuração submarina em grandes profundidades de água resultantes de atividades de perfuração, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

15 manter a pressão na parte superior de um riser de perfuração (6) que se prolonga de uma cabeça de poço do leito marinho para a superfície a igual a ou mais baixa do que a pressão atmosférica, referido riser (6) configurado com um BOP de leito marinho e desvio;

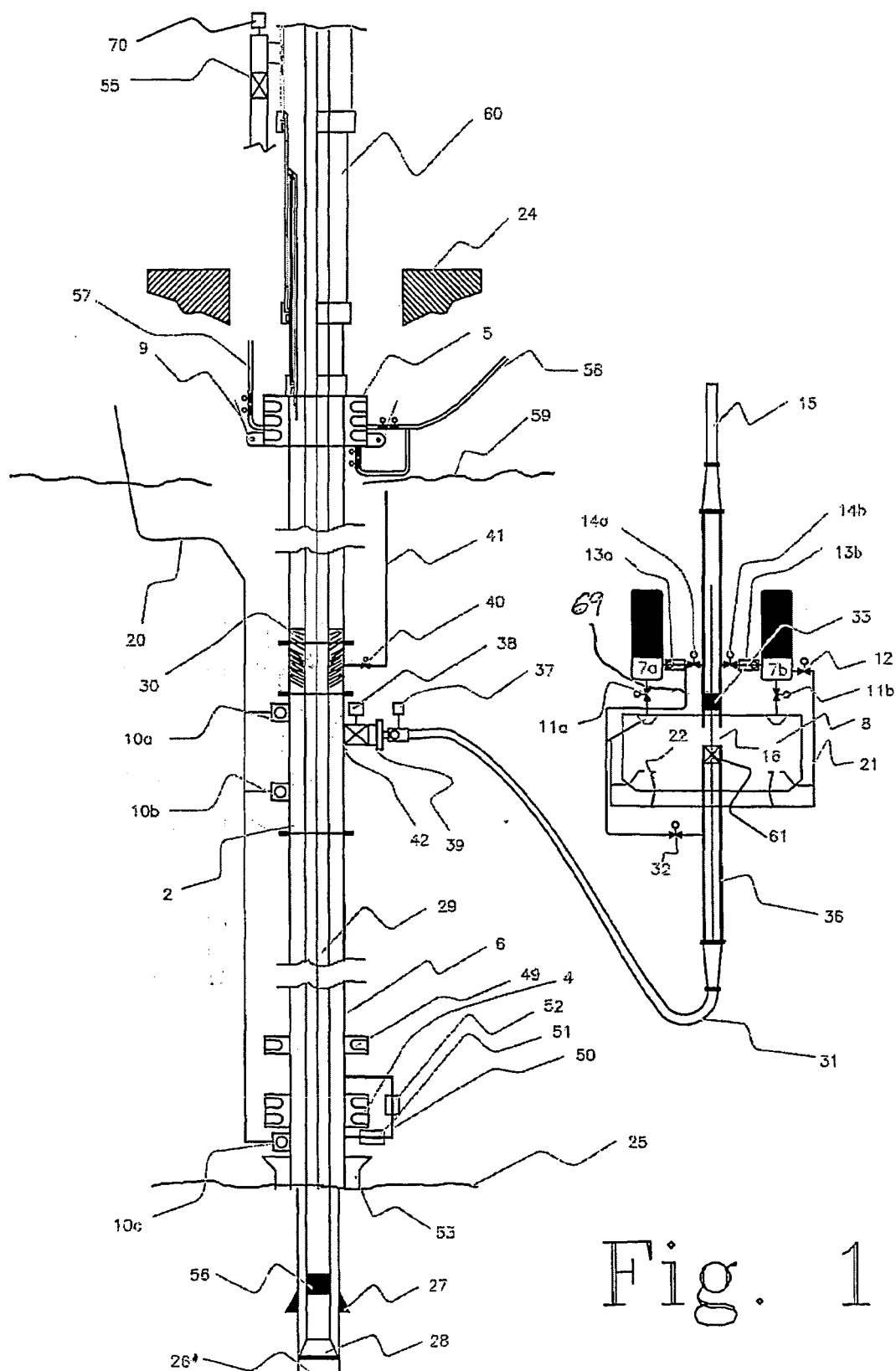
20 monitorar a pressão do furo de fundo no poço para uma mudança na pressão criada pelas atividades de perfuração;

converter a mudança na pressão no poço criada pelas atividades de perfuração a uma mudança equivalente na
25 altura do fluido de perfuração no riser (6);

ajustar a taxa da bomba de uma bomba de retorno de fluido de perfuração suspensa acima do solo marinho e ligada a um ponto acima da cabeça de poço do solo marinho ao riser de perfuração (6) de modo a ajustar a altura do
30 fluido de perfuração no riser de perfuração (6) pela mudança equivalente na altura do fluido de perfuração, de modo a neutralizar a mudança na pressão criada pelas atividades de perfuração pela variação da quantidade atual do fluido de perfuração no riser (6).

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que referida mudança na pressão que ocorre no referido riser pelas atividades de perfuração
5 compreende uma mudança na pressão criada pela coluna de perfuração sendo movida para cima ou para baixo no poço.

10. Método, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que referida mudança na pressão
10 no referido riser de perfuração é criada pela circulação de fluido de perfuração através da broca.



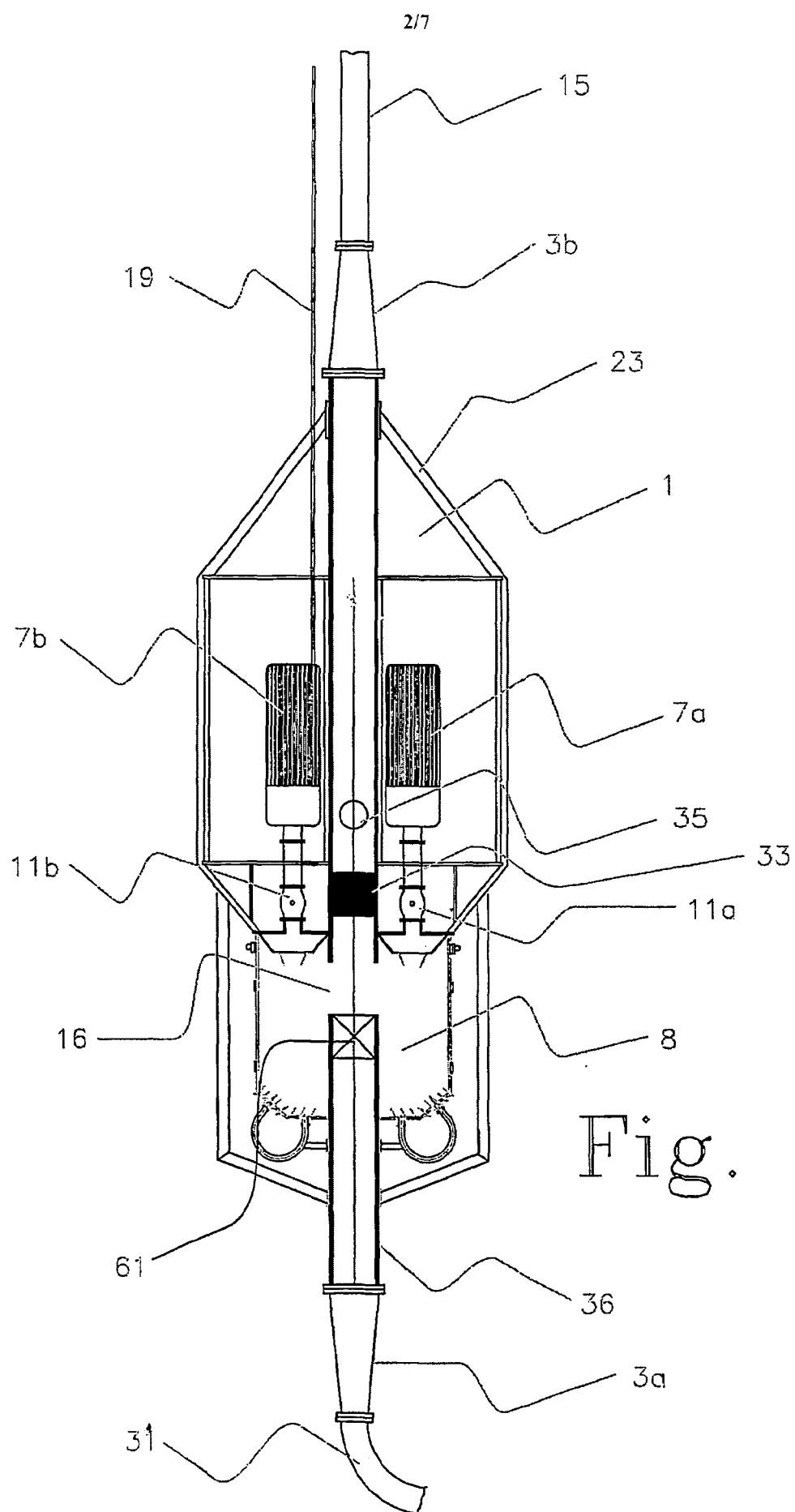
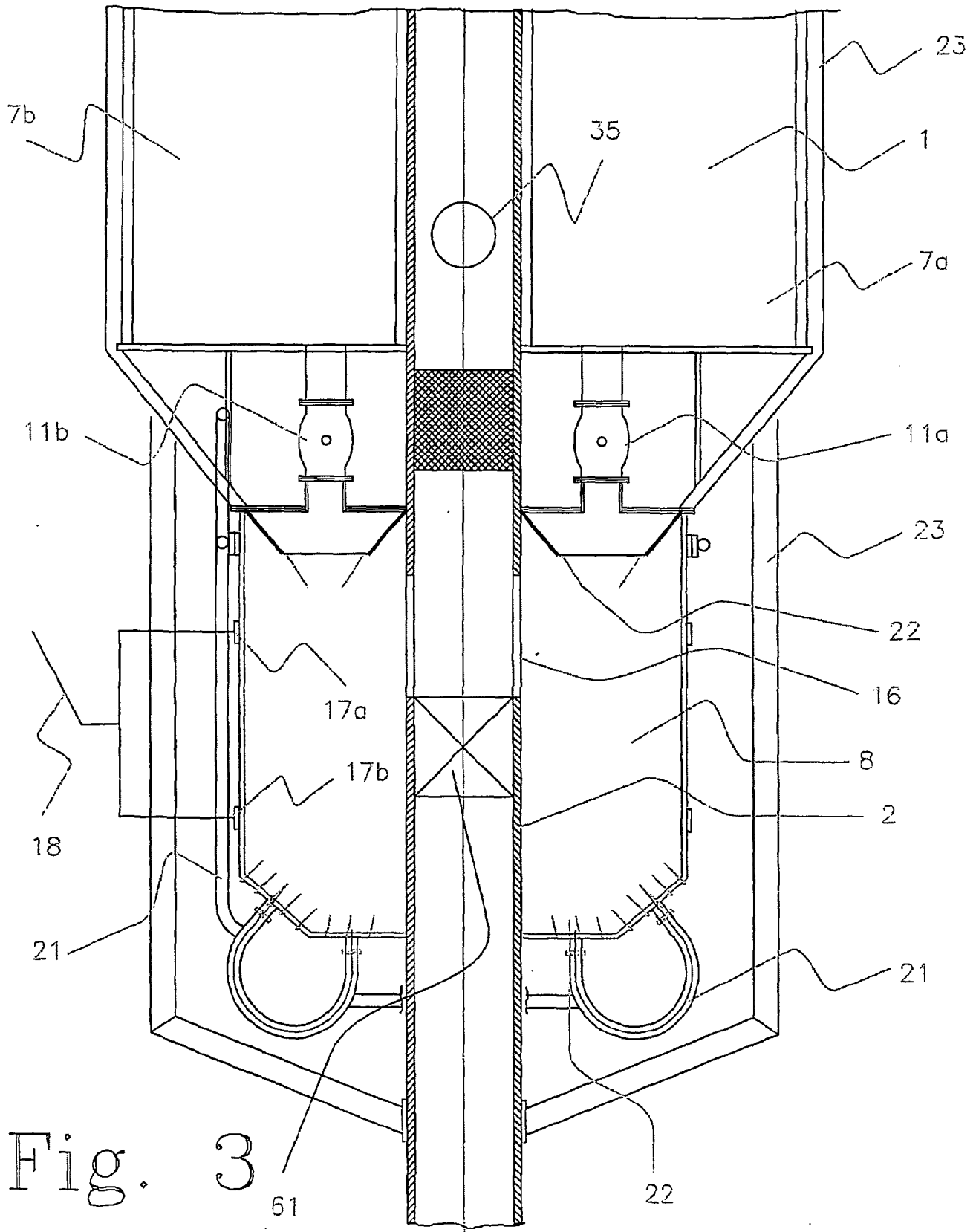


Fig. 2



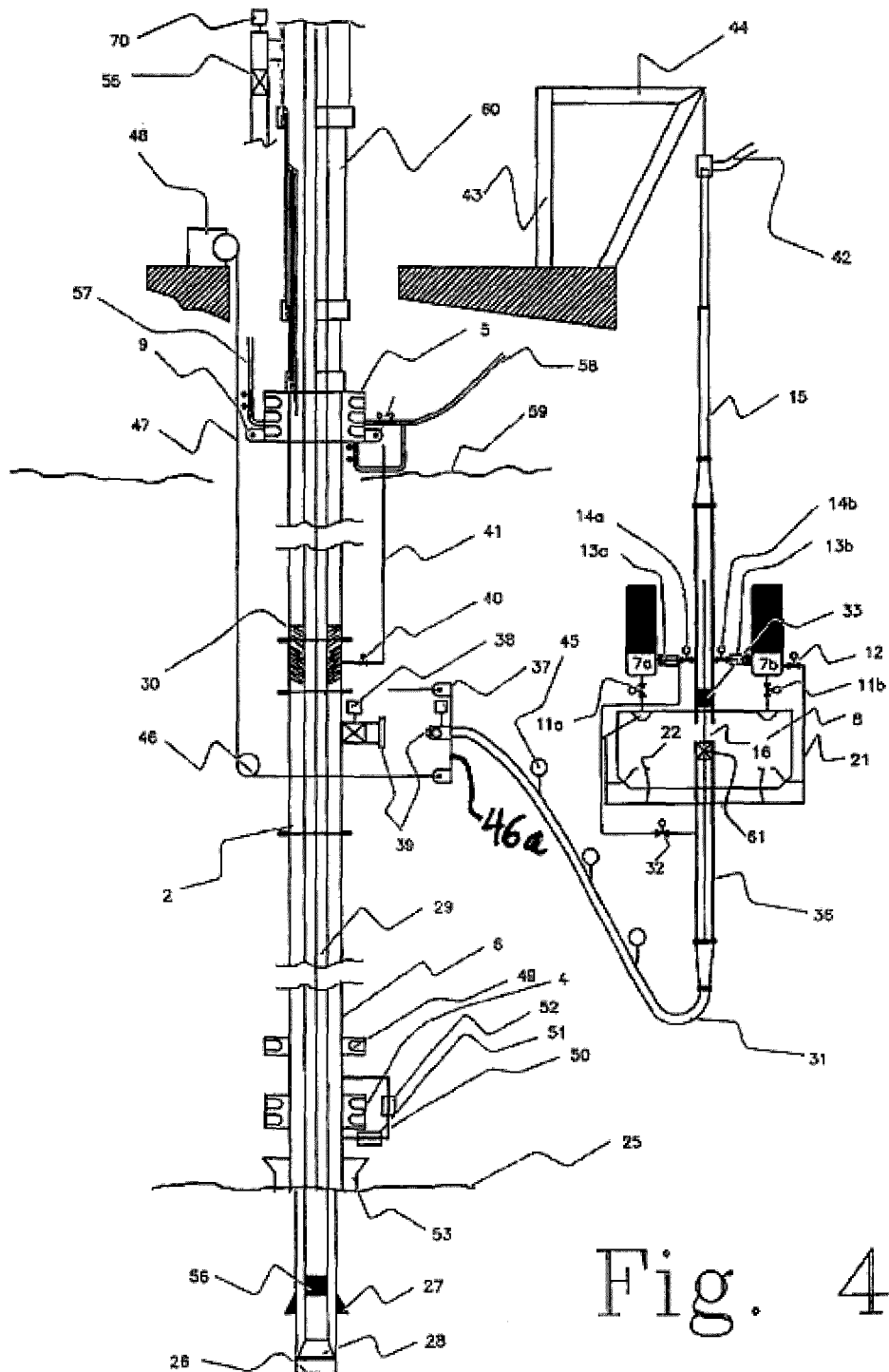


Fig. 4

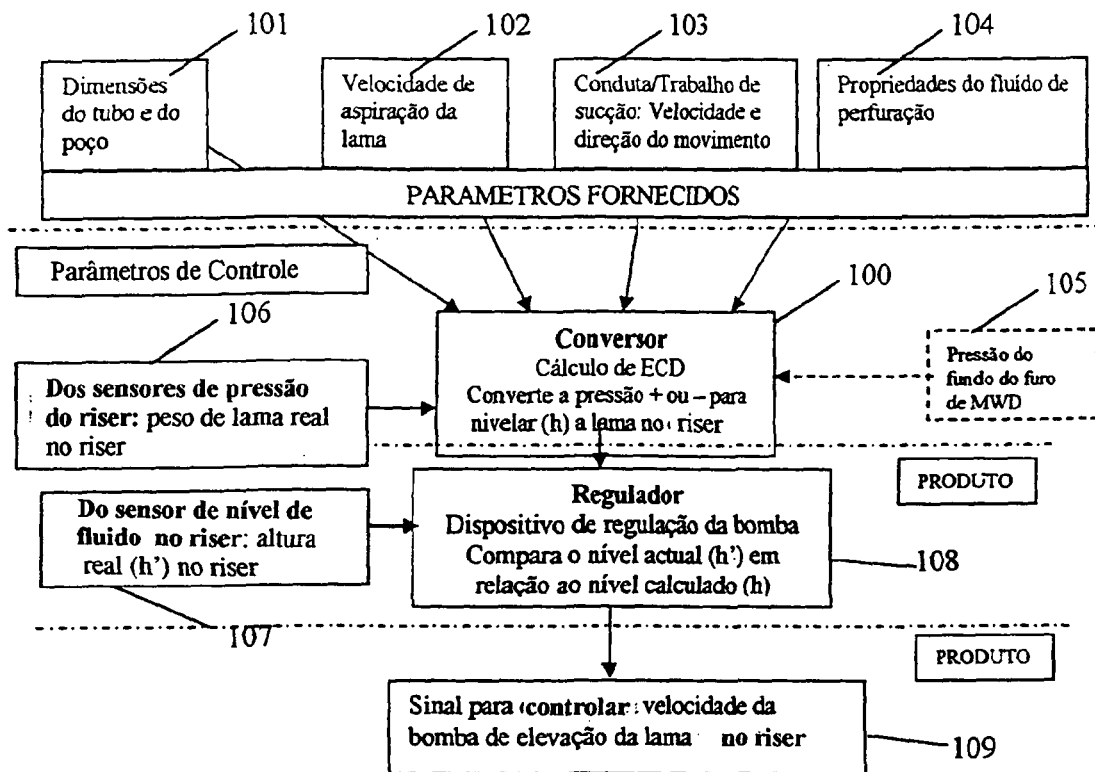


Fig. 5

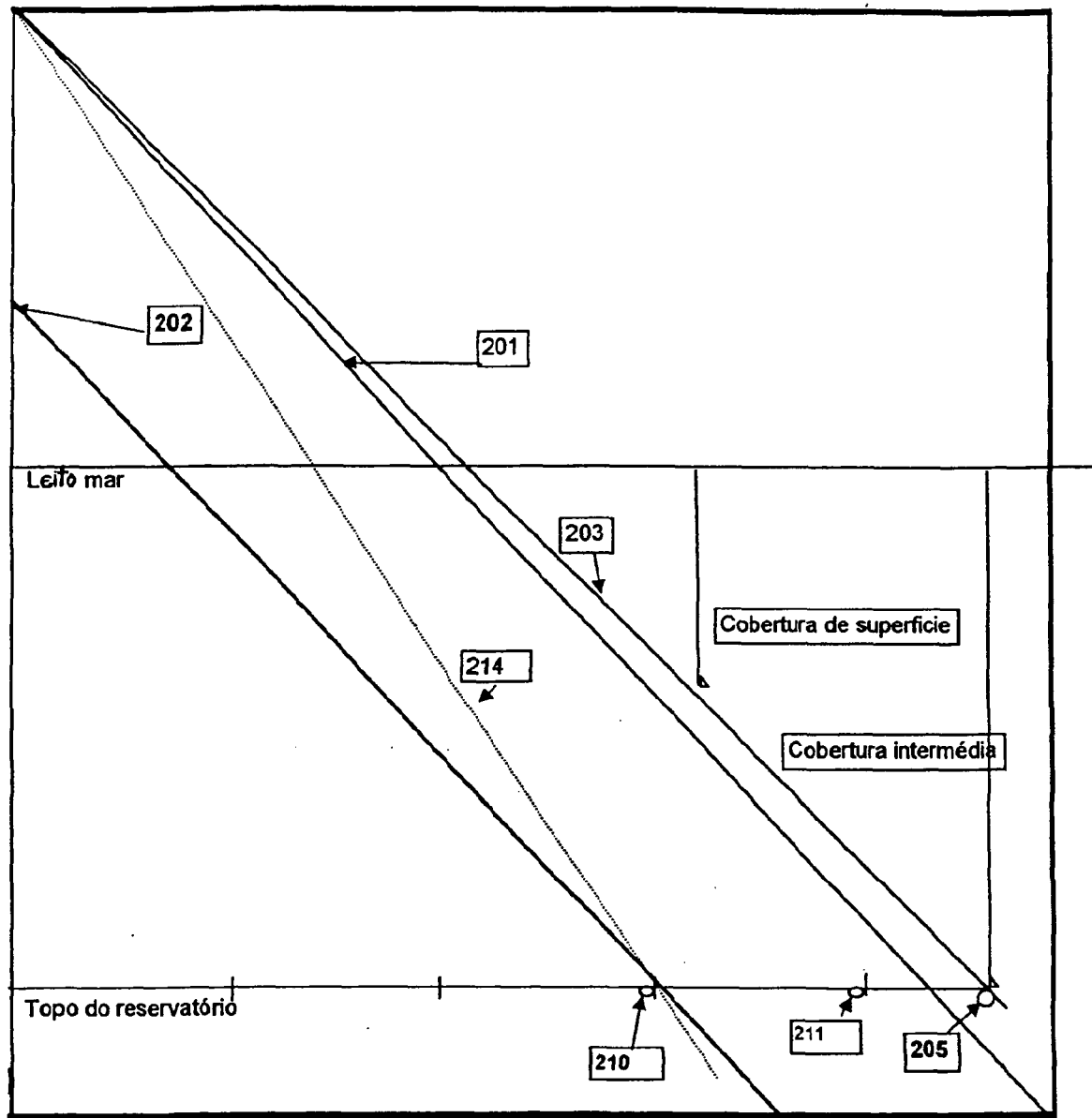


Fig. 6

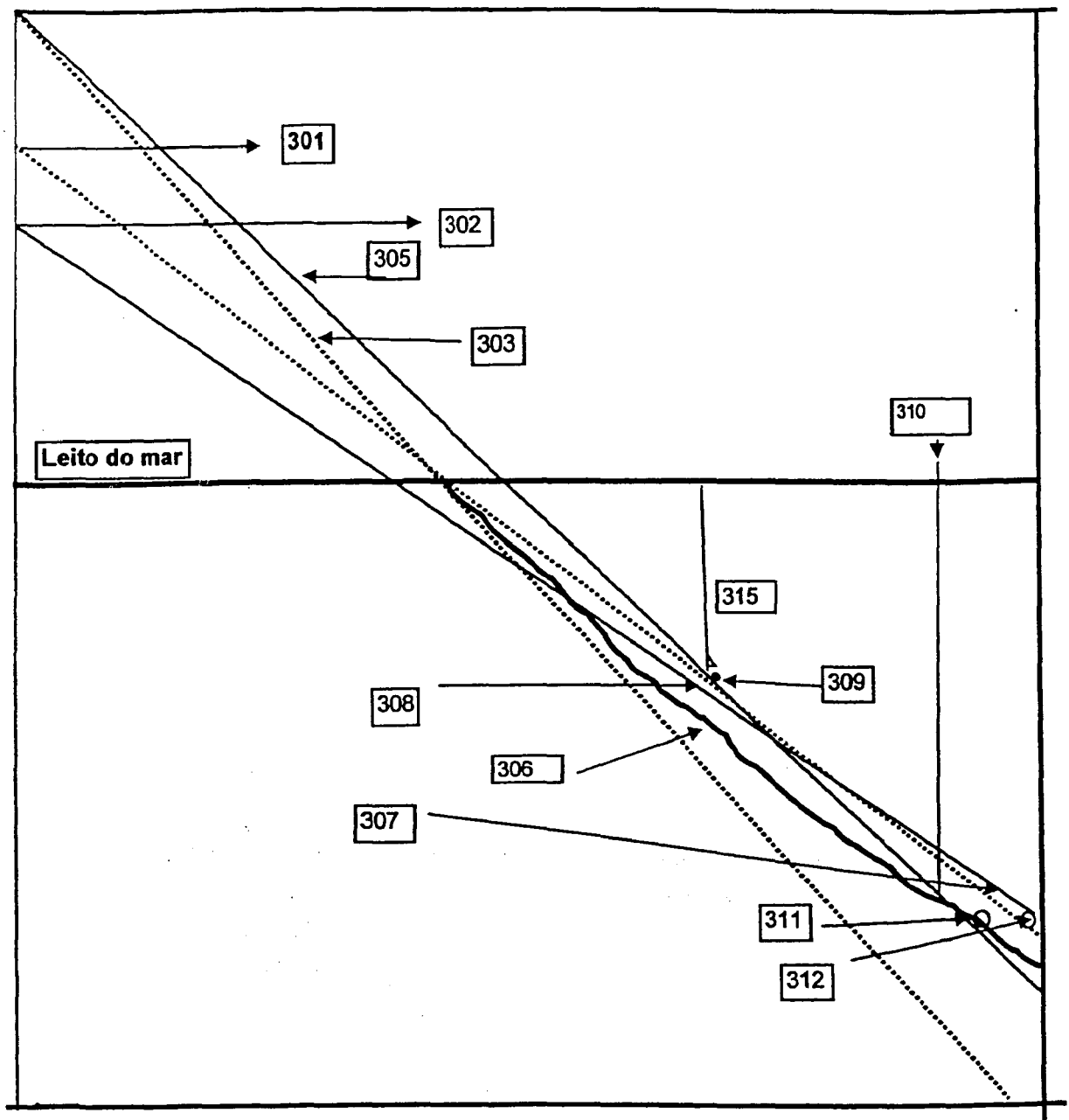


Fig. 7

RESUMO

**"DISPOSITIVO DE PERFURAÇÃO PARA COMPENSAR AS MUDANÇAS NA
DENSIDADE DE CIRCULAÇÃO DE LAMA EQUIVALENTE (ECD), OU
PRESSÃO DINÂMICA, E MÉTODO PARA COMPENSAR A DENSIDADE DE
5 CIRCULAÇÃO DE LAMA EQUIVALENTE (ECD), OU AUMENTO OU
DIMINUIÇÃO DA PRESSÃO DINÂMICA"**

A presente invenção se refere a um dispositivo e método para controlar e regular a pressão no fundo de um furo em um poço durante perfuração submarina em águas profundas. O método envolve o ajuste para cima ou para baixo de um nível de interface líquido/gás em um riser de perfuração (6). O dispositivo compreende um riser de perfuração de alta pressão (6) e um BOP de superfície (5) na extremidade superior do riser de perfuração (6). O BOP de superfície (5) possui uma saída de drenagem de gás. O riser (6) também compreende um BOP com uma linha de desvio (69). O riser de perfuração (6) possui uma saída em uma profundidade abaixo da superfície da água e a saída é conectada a um sistema de bombeamento com um conduto de retorno de fluxo retornando a um navio-sonda/plataforma de perfuração (24).