



IPI
INSTITUTO
NACIONAL DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0905704-8

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0905704-8

(22) Data do Depósito: 19/01/2009

(43) Data da Publicação do Pedido: 23/07/2009

(51) Classificação Internacional: E21B 34/06; E21B 33/068; E21B 34/10.

(30) Prioridade Unionista: GB 0800830.2 de 17/01/2008; GB 0807878.4 de 30/04/2008.

(54) Título: EQUIPAMENTO PARA INJEÇÃO À PULSO DE FLUIDO PRESSURIZADO EM PERFURAÇÃO DE POÇO

(73) Titular: WAVEFRONT RESERVOIR TECHNOLOGIES LTD.. Endereço: 26 CRANTSON AVENUE CAMBRIDGE ONTARIO CA N1T 1J8, CANADÁ(CA)

(72) Inventor: RONALD E. PRINGLE; MAHENDRA SAMAROO; BRETT CHARLES DAVIDSON; JOHN MICHAEL WARREN; JASON C. MAILAND.

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 05/02/2019, observadas as condições legais

Expedida em: 05/02/2019

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

“EQUIPAMENTO PARA INJEÇÃO À PULSO DE FLUIDO PRESSURIZADO EM PERFURAÇÃO DE POÇO”

CAMPO DA INVENÇÃO

Aplicação de pulsos ao líquido injetado em poços faz a
5 formação do solo mais homogênea e mais penetrativa. É descrito um
sistema para a criação automática dos pulsos, no qual um pistão é
acionado pelo diferencial de pressão (PDAF) entre a pressão do
acumulador alimentado e a pressão da formação do solo. Os níveis de
alteração do PDAF quando a válvula de pulso abre (e o PDAF diminui) e
10 quando a válvula de pulso fecha (e o PDAF aumenta) são configurados
para ativar um inibidor que restringe o movimento do pistão-válvula e
retarda a abertura e/ou o fechamento da válvula de pulso. A válvula de
pulso é construída para abrir explosivamente e assim criar ondas de
porosidade penetrativa na formação do solo. O sistema inclui um
15 acumulador de gás pressurizado e válvula de inspeção da injeção que
tem a capacidade de manter a pulsação mesmo quando a formação do
solo não está saturada, sendo que o injetor estático permite a injeção
não por meio de pulsos apenas quando a formação do solo se encontra
não-saturada.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

20 Frequentemente (sem dúvida, geralmente) é preferível
aplicar os pulsos ao líquido a ser injetado. O fato de que o líquido é
injetado em pulsos auxilia na distribuição de líquido na formação do
solo, a reduzir o manuseio e até homogeneizar o fluxo do líquido
25 injetado na formação de solo em volta da perfuração do poço.

Sistemas têm sido propostos para aplicação de pulsos ao
líquido a ser injetado em uma formação porosa de solo. Estes variam
desde geradores de pulsos “one-off”, usados, por exemplo, para a
criação de abalos sísmicas com fins exploratórios, até a injeção por

pulso de água de uma perfuração no solo para fortificar um poço de óleo deteriorado adjacente.

Geralmente existe um limite de quantidade de pressão que pode ser empregada sobre ou dentro de uma formação de solo. A própria formação pode ser danificada fisicamente se a pressão exceder certo limite. Também, à medida que o solo se torna mais saturado, a contrapressão no solo aproxima-se muito mais desta pressão máxima permitida. Assim, a injeção de mais líquido deve ser obtida através de um diferencial de pressão decrescente. Aplicar pulsos ao líquido sendo injetado permite aos engenheiros injetar muito mais líquido, apesar dos diferenciais de pressão decrescentes.

Estes conhecidos sistemas têm sofrido desvantagens como aplicabilidade e utilidade limitadas. Ou seja, os conhecidos sistemas de geração de pulsos tinham que ser desenhados especificamente para uma perfuração particular, com sua singular combinação de parâmetros incluindo porosidade, permeabilidade, saturação, pressão subterrânea, etc. O problema com isso é que estes parâmetros mudam; primeiro, quando começa a reparação, o solo é comparativamente insaturado, mas então, quando a injeção se processa, isso muda. Esta mudança afeta o máximo volume de carga por pulso, a máxima frequência, e assim por diante, o que é necessário para alcançar a mais profunda penetração e propagação do líquido na formação.

Outras desvantagens dos conhecidos sistemas de injeção tem sido a complexidade e a fragilidade. Estas têm sido um problema devido à necessidade de se criar e controlar os pulsos por meio de ações executadas na superfície.

DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

Através de uma explicação adicional da tecnologia, os exemplos serão descritos com referência aos desenhos anexos, nos quais:

5 A figura 1 refere-se a uma elevação transversal de uma perfuração, que contém um equipamento de pulsação.

As figuras 2, 3, 4 são seções similares de outro equipamento de pulsação mostradas em diferentes fases do ciclo de pulsação.

10 As figuras 5, 6, 7, 8 são seções similares de outro equipamento de pulsação mostradas em diferentes fases do ciclo de pulsação.

As figuras 9 e 10 são seções similares de um acumulador pressurizado de um equipamento de pulsação, mostrado em diferentes
15 fases do ciclo de pulsação.

As figuras 11 e 12 são seções similares de uma válvula de controle de injeção, mostrada em diferentes fases de sua operação.

A figura 13 é uma seção similar de um sub-equipamento estático de injeção.

20 A figura 13a é uma seção em linha a-a da figura 13.

A figura 14 é uma elevação frontal de um equipamento de pulsação e componentes associados, mostrado em uma perfuração seccionada.

A figura 15 é uma vista transversal de outro aparelho para
25 a criação de pulsos no líquido injetado.

As figuras 16 a 19 compreendem a mesma vista da figura 15, mas mostram diferentes fases do ciclo de pulsação.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

Esta tecnologia está relacionada à injeção de fluidos em poços ou perfurações subterrâneas. O fluido a ser injetado pode ser um gás, como o dióxido de carbono, mas a tecnologia objetiva, em primeiro lugar, a injeção de um líquido na formação em volta do poço. O líquido injetado pode ser, por exemplo, óleo ou água, isolado, ou como veículos para transportar substância de reparação, dissolvida ou na forma de suspensão ou lodo para a formação do solo, onde o líquido injetado se mistura a líquidos já presentes na formação do solo. A formação de solo pode ser, por exemplo, em um campo de óleo reparável, ou um aquífero de água contaminada. A tecnologia é descrita aqui, sobretudo no que se relaciona à injeção de líquido, principalmente água.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A presente tecnologia objetiva tornar possível simplesmente inserir um equipamento de pulsação dentro do poço ou perfuração, e para que o equipamento, então, se adapte automaticamente a quaisquer que sejam as condições, abaixo do solo. É um objetivo fazer isto sem a necessidade de qualquer intervenção a partir da superfície, a não ser o fornecimento pressurizado do líquido a ser injetado, e em particular evitar a necessidade de sensores e instrumentos de escavação, e evitar a necessidade de transmissão de energia elétrica, seja quanto ao funcionamento de um motor principal quanto ao envio de sinais.

Reconhece-se que os pulsos podem se tornar mais efetivos conduzindo o aparelho de criação dos pulsos de forma que a abertura inicial da válvula do pulso seja feita muito rapidamente, através de uma pressão comprimida do líquido é subitamente liberada, de preferência, explosivamente na direção da formação em volta do poço. O repentino início do pulso pode criar uma onda de porosidade na formação, e esta

onda de porosidade pode ser significativamente mais efetiva do que um pulso de baixa frequência penetrando por longa distância dentro da porosa formação do solo. Outro objetivo da tecnologia é capacitar os pulsos para que possuam uma alta frequência.

5 Como mostrado na figura 1, um equipamento de pulsação (20) inclui um corpo tubular (21), no qual é montada uma válvula de pulso (23). A válvula de pulso (23) inclui um membro da válvula móvel (25), na qual é anexado um pistão (27).

 A extremidade inferior do pistão (27) está exposta à pressão
10 presente na formação do solo (29) fora do revestimento de proteção do poço (30) (ou melhor, estritamente, à pressão presente no espaço anular (32) entre o revestimento de proteção do poço (30) e a equipamento (20). O espaço anular (32) comunica-se com a formação externa do solo (29) através das perfurações (34) no revestimento de proteção do poço (30). A
15 extremidade superior do pistão (27) está exposta à pressão presente na zona do acumulador (36). Deste modo, uma força descendente age sobre o pistão (27), proporcional ao diferencial de pressão PDAF entre o acumulador (36) e a formação do solo (29).

 A mola da válvula (38) serve para impulsionar o pistão (27)
20 e com ele o membro da válvula móvel (25), para cima. Assim, o pistão (27) move-se para cima se a força descendente devida ao diferencial de pressão PDAF for pequena, por exemplo, for menos do que a força ascendente devida à mola da válvula (38). O pistão (27) move-se para baixo quando a força descendente no pistão devida ao diferencial de
25 pressão PDAF excede a força ascendente sobre o pistão, devido à mola da válvula (38).

 A figura 1 mostra um estágio no ciclo do pulso. A válvula de pulso (23) está fechada, pelo que o fluxo do líquido (alimentado da superfície) para fora na direção do espaço anular (32), e desse modo

para fora na direção da formação do solo (29), através das perfurações (34), é impedido. Enquanto a válvula de pulso (23) permanece fechada, o líquido alimentado da superfície cresce em pressão na zona do acumulador (36) acima da válvula de pulso (23). Quando a pressão na zona do acumulador (36) tiver aumentado o suficiente para que o PDAF exceda uma magnitude pré-determinada, o pistão (27) e o membro da válvula (25) se movem para baixo.

Assim que o pistão (27) e o membro da válvula (25) se movem para baixo, a válvula de pulso (23) abre. A pressão contida na zona do acumulador (36) explode para fora da válvula de pulso (23), e move através do espaço anular (32), e para fora, através das perfurações (34), na direção da formação do solo (29).

Depois disso, a pressão na zona do acumulador (36) diminui, e a pressão na formação do solo (29) aumenta. Consequentemente, o diferencial de pressão (PDAF) entre o acumulador e a formação se torna menor. Assim que as pressões se igualam, a mola da válvula (38) é forte o suficiente para movimentar o pistão (27) para cima, através do qual a válvula de pulso (23) se fecha novamente.

Desta forma, a válvula de pulso (23) alterna-se entre aberta e fechada, enquanto a pressão estiver sendo alimentada da superfície, e enquanto o diferencial de pressão PDAF no final do pulso for suficiente menor que permita que a mola de válvula (38) ativar o pistão (27), e o PDAF na figura 1 (fase do ciclo é suficientemente superior para se sobrepor à mola de válvula e mover o pistão (e membro da válvula (25)) para baixo.

No exemplo mostrado, os selos da válvula de pulso (23) estão levemente desajustados. Isto significa que, o membro da válvula (25) está inclinado para sua posição fechada em oposição à sede da válvula (40), não só pela mola da válvula (38), mas também pelos

diâmetros do selo desiguais. Como será compreendido a partir da figura 1, o diâmetro efetivo da sede da válvula (40) é (levemente) menor que o diâmetro do selo de equilíbrio da válvula (41). Ambos os selos (40) e (41) estão expostos ao mesmo PDAF, pelo que uma (pequena) força integral
5 induz o membro da válvula (25) fechada. A válvula de pulso (23) abre quando o PDAF excede a força de indução somada à força do líquido jorrando.

O realizador deve fazer com que a quantidade de desequilíbrio seja suficiente para manter a válvula de pulso fechada
10 durante parte de recuperação do ciclo da válvula de pulso, mas não tanto que interfira na operação da válvula de pulso. O menor dos dois diâmetros de selo deve ser maior de que cerca de noventa por cento do maior, a partir deste ponto de vista. Por outro lado, por exemplo, onde a força de jorramento mantém a válvula de pulso fechada é maior, o
15 realizador pode escolher fazer os dois selos com o mesmo diâmetro (por exemplo, inclinação zero, ou seja, os selos estão equilibrados), ou até negativos, pelo que a diferença nos diâmetros dos selos serve para inclinar a válvula de pulso, quando fechada, para a posição aberta.

O selo principal da válvula de pulso, entre o membro da
20 válvula (25) e o corpo tubular (21) é, no equipamento demonstrado, um selo metal-metal. De preferência, o desenhista deve especificar que o membro de válvula é composto de um material mais rígido que o do corpo. Por conseguinte, o membro da válvula pode escavar até ao metal do corpo, o que auxilia a assegurar um bom selo. Outra razão para
25 preferir que o membro da válvula seja mais rígido é que ele está sujeito à erosão a partir do líquido em fluxo acelerado, especialmente se o líquido contiver sólidos suspensos. Não está excluído, no entanto, que o realizador possa preferir incorporar um material de selo mais suave tradicional no selo principal.

O sistema simples conforme revelado na figura 1 pode ser mantido em funcionamento (por exemplo, ciclo de pulsos contínuo) somente atendendo a uma pequena série de condições operacionais. Estas condições dependem da porosidade e permeabilidade da formação do solo, do grau de saturação da formação do solo, da velocidade com que o acumulador pode ser recarregado, e assim por diante. A menos que sejam tomadas precauções, o sistema simples, quando operado fora de ótimas condições, é desejável que se interrompa o ciclo de pulsos entre aberto-fechado ou se registre uma condição na qual a válvula siga os ciclos aberto/fechado em uma alta frequência.

Conforme mencionado, uma característica desejada de um equipamento de pulsação é que a válvula de pulso deva abrir repentinamente, através do qual o líquido pressurizado retido no acumulador jorre para fora e crie uma súbita explosão de pressão no líquido ao redor da perfuração do poço. Esta súbita explosão propaga-se pela formação do solo, na forma de uma onda de porosidade. Uma vez que a explosão de alta energia inicial tenha cessado, a maior parte do volume carregado de líquido a ser injetado naquele pulso desvia-se para dentro da formação do solo. Quanto mais tempo a válvula de pulso ficar aberta, maior é o volume carregado injetado, por ciclo de pulsos.

Quanto mais energia há na explosão inicial, mais longe é a expectativa de penetração da onda de porosidade resultante na formação do solo. É a explosão inicial de energia, assim que a válvula abre, que é crítica para a criação da onda de alta energia. Para promover uma alta velocidade na abertura da válvula, o realizador deve fazer com que o membro da válvula móvel (25) seja leve em relação ao peso, que a força que atua para mover o membro de válvula para baixo seja substancial e que a força vá de zero (ou inferior) até altas, rapidamente. O realizador deve também fazer com que as áreas

transversais e as configurações através das quais o líquido injetado tem que passar apresente uma baixa resistência hidrodinâmica.

Previamente a abertura, o selo de equilíbrio da válvula (41) está sujeito a ao total diferencial de pressão PDAF, e por isso pode-se esperar que tenha uma alta fricção do selo. O material do selo deve ser escolhido por características de baixa fricção (uma baixa fricção é mais importante do que, por exemplo, um selo absoluto), mas ainda assim, a resistência à abertura inicial da válvula de pulso pode ser insignificante. Assim que a válvula comece a abrir, a fricção do selo de equilíbrio da válvula (41) diminui, uma vez que a pressão iguala ambos os lados do selo.

~~Para superar o efeito da alta fricção do selo e auxiliar a~~ fazer a válvula de pulso se movimentar mais rapidamente do primeiro início da abertura até a abertura completa, o equipamento de pulsação pode incorporar um martelo. O martelo é se move separadamente do membro de válvula. O realizador dispôs que, a fim de abrir o membro da válvula, primeiro o martelo seja acelerado a alta velocidade, e então o martelo em movimento tenha impacto sobre o membro de válvula. Por causa do martelo, algumas das resistências ao movimento inicial do membro de válvula já estão superados ao do martelo, esperando-se que os membros de válvula se movam mais rapidamente por causa do martelo. A operação de uma forma simples de martelo é mostrada nas figuras 2, 3 e 4.

A extremidade inferior do martelo (43) está exposta à pressão presente na formação do solo (29) fora do revestimento de proteção do poço (30) (ou melhor, à pressão presente no espaço anular (32)). A extremidade superior do martelo (43) fica exposta à pressão presente na zona do acumulador (36). Então, uma força descendente

atua sobre o martelo (43), proporcional ao diferencial de pressão PDAF entre o acumulador e a formação do solo.

A mola do martelo (45) serve para acionar o martelo (43) para cima. Desta maneira, o martelo (43) move-se para cima se a força descendente devida ao diferencial de pressão PDAF for menor, ou seja, for menor do que a força ascendente devida à mola do martelo (45). O martelo (43) movimenta-se para baixo quando a força descendente sobre o martelo devida ao diferencial de pressão PDAF exceder a força ascendente sobre o martelo devida à mola do martelo.

As figuras 2, 3 e 4 mostram o ciclo de pulsos resultante. Nestes desenhos, valores numéricos foram determinados para as pressões nas variadas posições, como indicado. Na figura 2, a válvula de pulso (47) acabou de fechar. A pressão de fora do revestimento de proteção do poço (30) (na formação do solo) é de 1.700 psi, e diminuindo. (a pressão da formação do solo está diminuindo porque a válvula de pulso (47) está fechada, e o líquido que foi injetado durante o recente pulso está se dissipando na formação do solo. Na figura 2, a pressão dentro do equipamento é de 1.800 psi. Então, na figura 2, o diferencial PDAF está em 100 psi – que é baixo o suficiente para que a mola do martelo (45) feche a válvula de pulso (47).

Sendo fechada a válvula de pulso (47), o líquido que é alimentado desde a superfície cresce em pressão, na zona do acumulador (36) acima da válvula de pulso, enquanto o acumulador recarrega. Na figura 3, a pressão do acumulador cresce para 1.900 psi. Enquanto isso, a pressão externa continua a diminuir, até 1.600 psi. Quando a pressão na zona do acumulador aumenta, e a pressão de fora diminui o suficiente para que o PDAF exceda uma pré-determinada magnitude (por exemplo, 300 psi), o PDAF supera a força devida a mola do martelo (45) e o martelo (43) começam a se movimentar para baixo.

Apenas o martelo (43) se desloca neste estágio – o membro da válvula (49) permanece estacionado, na posição fechada, no momento.

O martelo ganha velocidade e ímpeto, conforme se move para baixo, até (na fase da figura 3) o martelo está se deslocar rapidamente, e estiver prestes a impactar contra o eixo (50) do membro da válvula (49). O martelo atinge o membro de válvula, e a válvula de pulso (47) abre (figura 4).

Quando a válvula de pulso abre, as pressões internas e externas do equipamento movem-se equalizadamente em que o líquido flui para fora do acumulador até a formação do solo. Eventualmente, o diferencial de pressão PDAF diminui abaixo do valor no qual a mola do martelo (45) mais uma vez fecha a válvula de pulso (47), e o equipamento retorne à condição da figura 2.

O equipamento, das figuras 5, 6, 7 e 8 difere dos equipamentos das figuras 2, 3 e 4 devido à provisão de uma unidade amortecedora “tipo *dashpot*” (52). (Mais uma vez, nas figuras 5, 6, 7 e 8, os números nas caixas representam as pressões do líquido.) Na figura 5, tão logo o martelo (54) comece a se movimentar para baixo, um suporte (56) no martelo (54) engata a uma bucha axialmente-flutuante, e empurra a bucha (58) para baixo. As funções do amortecedor a base de óleo é inibir o movimento descendente o martelo (54).

O martelo (54) move-se para baixo lentamente, primeiro. Entretanto, nesse momento, embora o martelo esteja se movimentando para baixo, como mostrado na figura 7, a pressão do acumulador (36) continua a aumentar (até 2.000 psi) e a pressão externa na formação do solo (29) continua a diminuir (até 1.500 psi – através do qual o PDAF aumenta para 500 psi).

Na figura 7, a extremidade (60) da bucha (58) moveu-se para baixo o suficiente para que a abertura (61) do canal de óleo (63)

não se cubra pela bucha (58). Subitamente não há nada inibindo o movimento descendente do martelo (54), e este bate violentamente para baixo.

Seu ímpeto supera a força da mola (45) e supera a força de inclinação devida aos diâmetros de selo desiguais. O membro da válvula (49) separa-se da sede da válvula (40), e a válvula de pulso abre. O volume carregado do líquido contido na zona do acumulador (36) explode para fora da válvula de pulso (47) aberta, e penetra na formação do solo.

Como demonstrado na figura 8, com a válvula de pulso ainda aberta, a pressão do acumulador diminuiu para 1.800 psi, e a pressão da formação do solo aumentou para 1.600 psi. Eventualmente, o diferencial de pressão PDAF diminui tanto que a mola do martelo (45) fecha novamente a válvula de pulso. Com a válvula de pulso fechada, o acumulador recarrega até a pressão máxima. Nesse momento, o martelo desce então a válvula de pulso abre, e o ciclo de pulsos continua.

Perceber-se-á que um dos efeitos de se providenciar o amortecedor “do tipo *dashpot*” é permitir que o diferencial de pressão PDAF aumente, logo antes que a válvula de pulso abra, até um nível que é além daquele necessário para superar a mola do martelo (45).

A provisão da unidade amortecedora “do tipo *dashpot*”, que é arranjada para restringir parcialmente o movimento descendente do martelo (54), como mencionado, habilita o equipamento de pulso a operar sobre uma gama maior de condições de operação. Isso significa que, o equipamento pode ser preparado para se adaptar às condições encontradas no poço, e se adaptar automaticamente às diferentes condições que se estabelecem à medida que a pulsação continua por um período de tempo. Por exemplo, conforme o solo se torne mais

saturado com o líquido injetado, espera-se que a média de pulsos aumente.

Deve-se entender que a distância de propagação da onda de porosidade é afetada pelo nível alterado de saturação da formação do solo. Quanto mais saturada a formação, mais efetivo (isto é, mais penetrativo) é o aumento da frequência de pulsos. Quer dizer, a razão de pulsação ótima, sendo a razão de pulsação que maximiza a penetração da onda de porosidade, aumenta à medida que o solo se torna mais saturado. A provisão da unidade amortecedora “do tipo *dashpot*” possibilita a razão de pulsação a chegar, ou quase chegar, a essa razão ótima, conforme a razão muda devido à alteração na saturação.

A estrutura da unidade amortecedora “do tipo *dashpot*” será descrita com maiores detalhes. A bucha do martelo (58) é um vão impermeável estreito que encaixa a um orifício no corpo do equipamento (69). A unidade amortecedora “do tipo *dashpot*” (52) inclui um volume fechado (67), no qual está contida uma quantidade de óleo. O volume (67) está definido entre o martelo (54) e o corpo (69). A superfície cilíndrica externa da bucha do martelo (58) está dimensionada para que seja um encaixe deslizante dentro do orifício (65), por meio da qual a bucha possa se mover de forma axial para baixo e para cima dentro do orifício (65). O encaixe é tal que provoca a constrição da passagem de óleo quando o martelo (54) e a bucha do martelo (58) se movem para baixo, da parte inferior da bucha do martelo (58) até a parte superior.

A figura 6 mostra a situação no momento em que o martelo (54) está iniciando seu movimento descendente. A válvula de pulso (47) está fechada e a pressão dentro do acumulador (36) está se acumulando. Na figura 6, a pressão no acumulador é alta o bastante

para superar a força proveniente da mola do martelo (45), mas assim que o martelo (54) desce, é restringido no seu movimento descendente pelo amortecedor “do tipo *dashpot*” (52).

5 Durante o movimento descendente do martelo (54), o óleo é forçado através dos orifícios de medição de fluxo na bucha (58) e o pequeno vão entre a bucha (58) e o orifício (65), por onde o martelo se desloca lentamente para baixo. Enquanto isso, a pressão no acumulador (36) está aumentando à medida que o acumulador é carregado, com líquido da superfície, sob pressão. Assim o diferencial
10 de pressão PDAF torna-se maior conforme o acumulador alcança a carga de pressão máxima permitida, que neste exemplo é 2.000 psi.

~~O tamanho dos orifícios medidores de fluxo na bucha axial~~
(58) e o orifício formado pelo pequeno vão são tão determinantes quanto para a frequência com a qual a pulsação ocorre. Os engenheiros podem
15 variar a frequência do pulso trocando os componentes do amortecedor. Outros fatores, tais como a permeabilidade do solo e o seu grau de saturação, afetam a frequência do pulso, através do qual os engenheiros em operação possam ir apenas pouco mais do que o ponto de vista da frequência de controle. Ainda, mesmo quando o tamanho do orifício do
20 amortecedor se mantém constante, a frequência mudará (geralmente aumentará) à medida que o solo se torna mais e mais saturado. Entender-se-á que um dos benefícios da tecnologia aqui descrita é que o equipamento operará automaticamente em uma alta frequência de pulsação quando o solo e o líquido no solo, alterar de tal maneira que
25 uma alta frequência possa ser suportada.

O martelo (54) continua seu movimento descendente contra a resistência do amortecedor, enquanto o diferencial de pressão PDAF aumenta – até 500 psi, na figura 7. O martelo movimenta-se para baixo o bastante para que a abertura (61) do canal de retorno do fluxo de óleo

(63) no orifício (65) do corpo (69) fique descoberta pela bucha do martelo (58), como mostrado na figura 7. Agora, a resistência vinda do amortecedor desaparece de repente, através do qual o martelo fica livre para continuar o movimento descendente, sob o efeito da totalidade de 500 psi do diferencial de pressão PDAF.

O martelo (54), por conseguinte subitamente bate fortemente para baixo. A cabeça (70) do martelo (54) atinge o eixo (50) do membro da válvula (49), e direciona o membro da válvula para baixo também. Assim que a válvula de pulso (47) explode abrindo, o líquido do acumulador é descarregado através da válvula, para fora através das perfurações (34), e na direção da formação do solo (29) circundando o poço. (De novo, quanto mais energético o jorro inicial do líquido pressurizado, mais longe pode se esperar que seja a penetração da onda de porosidade dentro do solo).

Após o jorro inicial, um volume carregado de líquido pressurizado continua a fluir para fora na formação do solo. Depois de um tempo (tipicamente, um segundo ou quase), a pressão atuante na extremidade superior do martelo (54) diminui, por exemplo, para 1.800 psi enquanto o acumulador descarrega (figura 8). Ao mesmo tempo, enquanto o líquido injetado é recebido na formação, a pressão da formação aumenta, por exemplo, para 1.600 psi. Desta forma, o diferencial de pressão PDAF atuando sobre o martelo está decaindo. Quando o PDAF tiver diminuído para 100 psi (por exemplo), a mola de martelo (45) fica suficientemente forte para superar este diferencial reduzido, e consequentemente, o martelo (54) começa a mover-se inversamente para cima.

Durante o movimento ascendente da bucha do martelo (58), a face da extremidade superior (60) da bucha do martelo permanece livre do suporte (56) sobre o martelo. Assim, o óleo pode passar

livremente (para baixo) por meio do grande vão entre a bucha do martelo (58) e o martelo (54), e o amortecedor não tem efeito nenhum para retardar o movimento ascendente do martelo. Quando o martelo se eleva, a borda (72) sobre o martelo (54) recolhe o membro da válvula (49) e fecha a válvula de pulso (47).

Uma vez que a válvula de pulso esteja fechada, a pressão da superfície recarrega o acumulador (36). Enquanto isso, a pressão externa do revestimento de proteção do poço (30) diminui, assim que o volume carregado de líquido injetado se dissipa na formação do solo. A pressão crescente do acumulador e a pressão decrescente da formação do solo significam que o diferencial de pressão PDAF, então, começa a aumentar uma vez mais, pelo que o ciclo de pulsação continua.

O amortecedor inclui um equalizador compreendendo um pistão movível (74), que assegura que o óleo no volume (67) permaneça sempre na pressão do espaço anular (32). É preferível que o volume (67) contendo o óleo não seja fixado, porque o volume do óleo poderá variar com a pressão (principalmente, por causa do ar capturado no óleo); e, além disso, o óleo poderá ficar aquecido durante o ciclo de pulsação do equipamento, devido à ação do amortecedor, e o calor pode causar a expansão do óleo. O pistão-equalizador (74) simplesmente se movimenta para absorver essas mudanças no volume.

O óleo de preferência é o óleo de silicone, porque a sua viscosidade permanece estável em variadas temperaturas. (O óleo pode ficar muito quente quando a válvula está pulsando durante grande período.) A viscosidade do óleo pode também ser usada como um meio para controlar a frequência, e o óleo de silicone está disponível em grandes faixas de viscosidades. O realizador deve ter em mente que a lubricidade do óleo de silicone pode ser afetada pelos materiais dos componentes deslizantes, por exemplo, onde o orifício (65) no corpo do

equipamento é de aço, a bucha flutuante (58) deve ser de bronze, metal patente “do tipo *Babbitt*”, cádmio, prata ou estanho. O realizador deve também ter em mente prevenir a perda de óleo do amortecedor, pois, os selos no amortecedor devem ser construídos para escoamento zero.

- 5 Quando a formação do solo está abaixo da saturação total, sem dúvida leva um maior período de tempo (e um maior volume de carga) antes que a pressão do solo aumente o suficiente para que o diferencial PDAF seja menor o suficiente para que a válvula de pulso (23) possa fechar. Pode ser notado que uma diminuição no diferencial de pressão PDAF é acompanhada por uma correspondente queda da intensidade do fluxo do líquido através da válvula de pulso (aberta), onde esta queda acontece quando a formação do solo se torna totalmente saturada (e supersaturada). Assim, quando a formação do solo se torna mais do que saturada, então a frequência do ciclo operacional da válvula de pulso se tornará mais rápida.

- Compreender-se-á que este aumento automático na frequência é benéfico, no sentido de que a distância de penetração das ondas de porosidade é (normalmente) aumentada pelo fato da constatação da frequência aumentada – mas só se a formação estiver cada vez mais saturada com líquido. Com a presença do dispositivo de pulsação, como explicado, acontece que o grau de saturação da formação controla automaticamente a frequência da pulsação. De fato, não leva muito tempo para montar o sistema de forma que a frequência de pulsação possa ser mais ou menos ótima sob (quase) todas as condições operacionais prováveis de ser encontradas.

Para as presentes propostas, a formação do solo é aquela a ser “saturada” quando nenhum líquido suplementar possa ser injetado por meio de simples pressão (isto é, não por pulsos). A formação é considerada como “super-saturada” quando o processo de aplicação de

pulsos cíclicos ao líquido no momento em que ele é injetado permita a aplicação mais e mais líquido a ser injetado a uma dada pressão. Deve ser do conhecimento de todos que às vezes gases podem estar presentes, juntamente com os líquidos, na formação do solo e que tal gás terá efeito na quantidade de líquido que pode ser injetado a uma dada pressão. Tal gás terá também um efeito marcante na variação de frequência sobre a qual o ciclo pode substituir – e sem dúvida no efeito da pulsação cíclica, especialmente a partir do momento que a presença de gás reduz a distância a que uma onda de porosidade pode penetrar na formação do solo.

Ter-se-á a compreensão de que, pelo uso do amortecedor, o acumulador pode ser totalmente carregado até a sua máxima pressão antes que o membro da válvula (49) abra. Em efeito, o amortecedor serve para segurar o martelo, muito embora o próprio diferencial de pressão PDAF esteja exercendo uma força consideravelmente mais do que suficiente para superar a mola do martelo (45). Entender-se-á que no equipamento das figuras 2, 3 e 4, por contraste, ao membro da válvula (49) abriu assim que a força do diferencial de pressão PDAF simplesmente excedeu a força da mola do martelo (45) – o que significou que só sob circunstâncias muito restritas o acumulador foi carregado até a sua máxima pressão permitida no momento em que a válvula abriu.

Nos equipamentos supracitados, o acumulador compreende apenas um espaço aberto (36) dentro da caixa ou do corpo tubular (21) do equipamento. Quando o membro de válvula abre, o líquido armazenado neste espaço fica imediatamente disponível, e pode fluir para fora através da válvula de pulso, sob a pressão derivada da bomba (pressão de cabeça) na superfície. Em muitos casos, contudo, não é suficiente simplesmente ter um grande volume de líquido disponível

junto à válvula. Melhor, não só o grande volume do líquido deve estar disponível, mas o volume deve ser armazenado sob uma pressão resiliente, para que o volume retenha sua energia enquanto está sendo descarregado.

5 As figuras 9 e 10 mostram uma unidade de um acumulador pressurizado a gás (76). Aqui, uma câmara de gás (78) está definida por um pistão do acumulador (80) que corre em um orifício de um tubo do acumulador (81). A câmara (78) foi previamente carregada (na superfície) com gás (por exemplo, nitrogênio). O acumulador (76) inclui
10 um canal (83) (tubular) para a passagem de líquido da superfície descendo para a zona (36) abaixo do pistão (80). O pistão (80) está exposto à pressão do líquido na zona (36); assim que a pressão na zona (36) aumenta, então o pistão (80) é forçado inversamente para cima do tubo (81), contra a pressão do gás.

15 O acumulador (76) inclui uma válvula de retenção (85). Na figura 10, o acumulador acaba de ser inteiramente descarregado, pois um volume de carga de líquido foi descarregado na formação. A válvula de pulso fechou-se e o acumulador começa a sua recarga, a pressão na zona (36) abaixo do acumulador sendo mais baixa do que aquela
20 disponível na superfície. A válvula de retenção (85) é aberta e o líquido passando descendentemente, através dela. Assim que a pressão aumenta no acumulador, o pistão do acumulador (80) sobe no tubo (81). O acumulador (76) é totalmente carregado quando a pressão na câmara de gás (78) se iguala à que provem da superfície. O fluxo para e
25 a válvula de retenção é fechada rapidamente pela mola da válvula de retenção (87).

Pouco tempo depois, a válvula de pulso principal abre, e o acumulador descarrega. O fato de que a válvula de retenção (87) estar fechada assegura que o solavanco ou onda proveniente da súbita

explosão de abertura da válvula de pulso não passe sobre o equipamento, mas seja dirigida para baixo e para fora, para dentro da formação do solo. A válvula de retenção abre logo depois que a válvula de pulso abre, assim que a pressão na zona (36) começa a diminuir.

5 Quando a válvula de pulso abre subitamente, a energia potencial armazenada no gás pressurizado é libertada como energia cinética, que explode violentamente o líquido da válvula de pulso aberta. Novamente, quanto mais energia contida na explosão do líquido pela abertura inicial da válvula de pulso, mais longe se pode esperar
10 que a subsequente onda de porosidade penetre na formação do solo em volta da perfuração do poço. Assim, a provisão do acumulador pressurizado a gás (diferente de um simples contêiner do líquido), junto da válvula de pulso, proporciona totais vantagens adquiridas pelo curto tempo dispensado na montagem pelo membro da válvula (49) ao mudar
15 de fechado pra aberto.

Todavia, deve notar-se que em alguns casos os parâmetros ou condições da formação do solo, e de operação do equipamento, podem ser tais, que não necessitem de um acumulador pressurizado a gás. Geralmente, contudo, muito embora possa haver uma fase do
20 projeto de injeção durante a qual o acumulador pressurizado a gás não seja usado, haverá outras fases nas quais ele é usado. Pode perceber-se que, nas fases em que o acumulador traga benefícios, este fato pode ser demonstrado pelo próprio equipamento e o acumulador realiza automaticamente a sua função, durante o ciclo de pulsos, na medida
25 em que for necessária.

O acumulador pressurizado a gás (76) inclui um amortecedor. Uma ponta (90) na extremidade inferior do pistão do acumulador (80) é um pequeno vão em um orifício (92) formado na extremidade inferior do tubo do acumulador (81). Quando a ponta (90)

entra no orifício (92), um volume do líquido é captado no espaço (93), que pode escapar somente gotejando (lentamente) através da pequena abertura.

Em um equipamento alternativo, o martelo (54) é provido de uma unidade de amortecimento similar. Como já mencionado, o martelo (54) é intencionalmente movido muito rapidamente no momento em que atinge o eixo (50) do membro da válvula (49). O realizador pode providenciar que o martelo seja então interrompido em sua rota descendente, pelo batida do próprio martelo provocando uma interrupção com esse propósito no corpo do equipamento ou pelo membro de válvula realizando a parada. O primeiro é preferido, já que é mais fácil realizar o martelo robusto o bastante para enfrentar o impacto do fim da rota do que fazer o membro de válvula suficientemente robusto. Providenciar um amortecedor para enfraquecer o impacto do martelo frente à interrupção é um meio conveniente de aliviar problemas devidos ao impacto do fim da rota, se o realizador julgar necessário.

Em muitos casos quando um líquido está sendo injetado na formação do solo, primeiro o líquido verte no solo a uma alta vazão. Então, após certo período de tempo (que podem ser minutos, horas, ou até semanas), a vazão diminui, e uma pressão de cabeça do líquido na formação do solo em torno da perfuração do poço começa a se formar. Pode observar-se que, nesta primeira fase, quando a formação do solo não está totalmente saturada e a vazão de saída é grande, a injeção pode ser realizada sem pulsação, isto é simplesmente pressurização do líquido na formação do solo. No entanto, foi reconhecido que injetar o líquido usando repetidos e definidos pulsos cíclicos por certo período de tempo, tem suas vantagens, comparado com a injeção estática, mesmo quando a formação do solo está bastante insaturada. O mais

importante disto é a crescente homogeneização da formação do solo e a homogeneização da distribuição do líquido injetado na formação do solo.

Quando o líquido é injetado na formação do solo por injeção estática simples, ele tende a encontrar (e criar) seus próprios atalhos através da formação do solo. Este é um efeito crescente “bola de neve”, em que, uma rota particular é aberta pelo movimento do líquido, então o líquido cada vez mais tende a seguir a mesma rota no futuro – e, cada vez mais, as áreas da formação do solo entre os atalhos tendem a receber pouco ou nenhum líquido. Esta varredura do líquido injetado pode ser difícil de superar, uma vez que se tenha estabelecido. Injetando o líquido em pulsos definidos, mesmo no estágio inicial, o solo pode ser significativamente homogeneizado e o avanço da varredura pode ser bastante suavizado.

Quando os pulsos são criados por alterações no diferencial de pressão PDAF, como nos sistemas aqui descritos, pode ser difícil criar pulsos durante as fases iniciais da injeção, quando os diferenciais de pressão e as variações nos diferenciais de pressão são pequenos. Entretanto, é reconhecido que os diferenciais de pressão podem ser amplificados – o bastante para capacitá-los a serem utilizados para criar a pulsação – pelo uso de uma válvula de inspeção de injeção (ICV). A ICV serve para limitar a quantidade (isto é o volume de carga) de líquido que é injetado por pulso. Sem a ICV, se a formação estiver muito porosa e insaturada, os diferenciais de pressão suficientes para criar a pulsação podem não ser atingidos.

A válvula de inspeção de injeção (94), nas figuras 11 e 12, inclui um pistão da ICV (96). O pistão (96) é induzido por uma mola da ICV (98) de tal forma que a extremidade inferior do pistão (96) é mantida afastada da sede da ICV (100). A sede (100) é formada no corpo

(69) do equipamento. A ICV (94) está localizada acima do acumulador (76).

Quando vazão descendente do líquido está relativamente lenta, a ICV permanece sem efeito. O pistão da ICV (96) fica na posição levantada, como mostra a figura 11 e o líquido atravessa livremente pelo corredor (101) e por baixo do acumulador (76). Mas quando a vazão descendente está relativamente acelerada, o diferencial de pressão aumenta entre a área (103a) superior, e a área (103b) inferior, um limitador ou estrangulador (105), que é unitário com o pistão da ICV (96). Quando o seu diferencial de pressão, devido à alta vazão, for grande o bastante para superar a mola da ICV (98), o pistão da ICV (96) fecha-se contra a sede (100), como mostra a figura 12, cortando o fluxo. (De fato, uma pequena vazão pode ainda passar pelo pequeno orifício (107)).

15 A ICV (94) permanece fechada até a vazão passar através do limitador (105) e fora na formação, diminua a um nível no qual as pressões nas áreas (103a) e (103b) possam igualar-se o suficiente para que a mola da ICV (98) eleve o pistão da ICV (96) para fora da sua sede (100).

20 Seguindo a interrupção do fluxo, a pressão no corredor (101) abaixo da ICV diminui. Consequentemente, o diferencial de pressão PDAF agindo sobre o martelo (54) também diminui. Isto permite que a válvula de pulso principal (47) se feche, prevenindo assim um posterior fluxo na formação.

25 A válvula de pulso é fechada, o acumulador pode ser recarregado, por exemplo, pode ser recarregado até a pressão requerida para mover o martelo (54). Com a válvula de pulso (47) fechada, o diferencial de pressão induzido pela vazão através do limitador (105) da ICV diminui, e a ICV reabre. Com o acumulador recarregado, a válvula

de pulso principal (47) explode abrindo e um novo volume carregado é injetado para fora na formação do solo. Então, se a vazão externa na formação do solo, ainda for grande, a ICV fechar-se-á novamente, permitindo que a válvula de pulso, por sua vez, se feche. Deste modo, a

5 ICV viabiliza a pulsação a se iniciar, muito embora a própria formação do solo não esteja (ainda) apta a providenciar a pressão inversa para o líquido a ser injetado.

Eventualmente, depois de talvez um longo período de tempo de injeção a pulso, a formação do solo aproxima-se da saturação. Há

10 uma pressão inversa vinda da formação do solo e a vazão através do limitador (105) continua tão pequena que a ICV mantém-se aberta. O diferencial de pressão PDAF pode variar entre pequenos e grandes valores (por exemplo, 100 psi e 500 psi nos exemplos mencionados) necessários para manter a válvula de pulso no seu ciclo progresso de

15 fecha-abre-fecha-abre.

Mais uma vez, será observado que o próprio equipamento demonstra quando a vazão é tão grande que a ICV é necessária para criar as condições nas quais a válvula de pulso principal possa fechar e abrir ciclicamente. Uma vez que a vazão seja tão pequena que a

20 pulsação cíclica se sustente por si mesma, automaticamente a ICV permanece inoperante.

Entende-se que a função da ICV pode ser duplicada interrompendo-se o suprimento de líquido a ser alimentado no equipamento a partir da superfície. É possível identificar, na maioria dos

25 casos, se a pulsação está acontecendo abaixo da formação do solo, simplesmente observando um indicador de pressão na superfície. Quando a pulsação estiver ocorrendo, o indicador aumenta e diminui com a periodicidade dos pulsos. No entanto, controlar a vazão a partir da superfície requer controle e decisão humana – enquanto a ICV

identifica automaticamente quando é necessário e automaticamente executa sua função. E às vezes, a profundidade na qual o equipamento está em operação exclui o efetivo controle a partir da superfície, em qualquer evento.

5 Às vezes, a formação do solo está tão porosa e insaturada que o diferencial PDAF entre a pressão fornecida e a pressão da formação do solo permanece grande, até a dimensão em que a pulsação seja significativamente desacelerada abaixo da faixa na qual a formação do solo fica cheia de líquido. A figura 13 mostra um subconjunto de
10 injetor estático (SIS) (120), que pode ajudar a reduzir o problema.

 O líquido a ser injetado passa da superfície através do interior da tubulação (121) acima do equipamento. Não existe abertura na parede da tubulação acima (isto é, a montante) do SIS (120). Normalmente, o líquido simplesmente passa direto pelo SIS, através do
15 canal do SIS (123) sempre aberto, na sua rota descendente para a ICV (94), o acumulador (76), a válvula de pulso (47) e os outros componentes, conforme descritos. O líquido passa para dentro do espaço anular (32) (e daí por diante até a formação do solo (29)) se a válvula de pulso (47) estiver aberta, e não passa enquanto a válvula de
20 pulso estiver fechada. Deste modo o líquido passando pelo canal do SIS (123) está sujeito à pulsação e à pulsação arranjada de forma a criar a onda de porosidade altamente energética inicial, como descrito.

 Todavia, se o diferencial de pressão entre o líquido dentro do SIS e o espaço anular (32) externo do SIS devia exceder um valor
25 predeterminado (por exemplo 300 psi), a válvula de inspeção (125) do SIS abre, permitindo ao líquido fluir para fora na direção do espaço anular (32). Este líquido passa direto para a formação do solo, e não fica sujeito à pulsação. O fluxo através da válvula de inspeção do SIS (125) (na realidade, como mostrado, as duas válvulas de inspeção)

continua enquanto o diferencial de pressão através das válvulas de inspeção seja suficientemente grande para superar as molas das válvulas de inspeção (98). Quando líquido suficiente tiver sido injetado para que a pressão inversa do interior da formação do solo seja alta o bastante para que o diferencial de pressão diminua para abaixo do nível determinado pelas molas da válvula de inspeção (98), as válvulas de inspeção do SIS (125) fecham-se novamente.

Sem dúvida, o fluxo de líquido pelo canal do SIS (123) aberto continua, mesmo quando as válvulas de inspeção do SIS (125) estão abertas. Assim, quando as válvulas de inspeção são abertas, a parte do fluxo que passa pelo canal do SIS (123) está sujeito à pulsação, enquanto a outra parte do fluxo, que passa pelas válvulas de inspeção (125), não está sujeita à pulsação. Mesmo assim, a pulsação que permanece é ou pode ser suficiente para auxiliar na homogeneização do solo e na distribuição do líquido na formação do solo.

Assim que a formação do solo se torna saturada e a pressão inversa aumenta, as válvulas de inspeção fecham, e todo o líquido passa pelo canal do SIS (123).

A figura 14 mostra o esboço de um conjunto dos vários componentes, como descrito. Um obturador inflável (127) foi colocado no espaço anular (32), acima do nível do SIS (120). A porção (129) do espaço anular (32), acima do obturador deveria normalmente ser preenchido com água (ou outro líquido); o obturador (127) pode ser configurado tanto para prevenir que as ondas de choque e os pulsos sejam dissipados do que para suportar a pressão total do líquido descendente.

Entende-se que alguns dos detalhes de construção dos equipamentos foram simplificados, nos desenhos. Sem dúvida, o realizador deve entender que os componentes possam ser montados

juntos, adequadamente para serem introduzidos em uma perfuração de poço. Os desenhos como demonstrado são adequados para um equipamento de pulsação que é para ser usado em profundidades de centenas de metros.

- 5 Os realizadores escolhem os limites para as magnitudes superiores ou inferiores do PDAF nas quais desejam que a válvula de pulso abra e feche. Os realizadores levam em consideração as desejadas pressões de abertura e fechamento selecionando os diâmetros e áreas dos componentes do equipamento que são movidos pelas variadas
- 10 pressões e pressões diferenciais e através da seleção apropriada das faixas de jorramento, etc.

Pode ser uma simples questão de preparar o desenho do equipamento de forma que este possa ser desmontado, no próprio lugar, suficientemente para permitir que a mola do martelo seja trocada, e

15 assim alterar os valores do PDAF nos quais a válvula de pulso abre e fecha.

Com um tamanho normal de equipamento e em um típico poço, a frequência da pulsação pode variar em um ciclo de dez segundos (no início da injeção por pulsos, quando o solo está menos

20 saturado), até um ou dois ciclos por segundo, contanto que a formação do solo alcance a “acima da saturação” e uma alta pressão inversa aumente na formação do solo. Tipicamente, a pulsação continua por um período de dias ou semanas. Podem-se levar vários dias, ou algumas horas, para que uma pressão inversa se forme na formação do

25 solo, já que existe alguma pressão residual mensurável restante no espaço da formação do solo imediatamente antes que a válvula de pulso se abra.

O termo “saturação”, como aqui usado, pode explicar o que se segue. A formação do solo se diz ser “simplesmente saturada”

quando nenhum líquido pode ser injetado no solo sem a pulsação. Geralmente, no tipo de formação do solo ao qual a presente tecnologia refere-se, a condição de saturação não pode, na realidade, ser adquirida; quer dizer, sempre é possível injetar um pouco mais de líquido, por exemplo, a uma baixa vazão, pois o líquido injetado sempre dissipa em volta do solo em vazão lenta.

É sempre possível injetar mais líquido no solo, além do ponto de “simples saturação”, simplesmente aumentando a pressão de injeção estável (não por pulso) – tendo o cuidado, claro, em não exceder o limite prático além do qual a formação do solo poderia ou pode ser fisicamente danificada por um posterior aumento na pressão de injeção. A condição de “simples saturação” é uma condição que está associada à injeção estática, isto é, à injeção não por pulso.

O termo “acima da saturação”, conforme aqui usado, refere-se à injeção de mais líquido no solo, além da condição de “simples saturação”, como resultado da aplicação de pulsos no líquido enquanto este está sendo injetado. Praticamente qualquer tipo de pulso pode proporcionar pelo menos um pequeno grau de “acima da saturação”; a tecnologia aqui descrita, quando apropriadamente executada, pode proporcionar o alcance de um grau de “acima da saturação” bastante alta.

Para os fins desta especificação, o solo é considerado plenamente ou completamente “acima da saturação” quando, depois de um longo período de injeção a pulso, a pressão invertida no solo é tão alta que qualquer gota de líquido que é injetada na formação do solo durante o impacto da injeção do ciclo de pulsação volta para a perfuração do poço durante o impacto de recuperação do ciclo de pulsos. Uma vez mais, em formações de solo práticas reais, a condição de “acima da saturação” nunca é inteiramente alcançada, isto é, o

volume recuperado, por pulso, nunca é perfeitamente tanto quanto o volume injetado por pulso.

A quantidade de líquido que deve ser injetada no solo para que se alcance, ou se aproxime do status de “acima da saturação” depende de muitas coisas, mas principalmente da pressão na qual a injeção é executada (o que, como mencionado, em geral tem que ser limitado por razões geofísicas). O objetivo dos realizadores e dos engenheiros é normalmente injetar o máximo de líquido possível no solo, por poço, no mais curto espaço de tempo possível, dentro das limitações impostas pela pressão máxima de injeção. Na prática, sempre será possível injetar outros de líquido dentro do poço, depois de um tempo, pois o líquido já injetado terá se dissipado em volta do solo, depois de algum tempo.

As figuras 15 a 19 mostram uma variante do desenho do amortecedor que foi descrito com referência às figuras 5 a 8. Na figura 15, a válvula de pulso (23) compreende uma série de portas de injeção (160) inseridas em volta do corpo tubular (163) do equipamento, através do que o líquido pressurizado no espaço do acumulador (36) possa passar, a não ser que, na figura 15, o pistão (167) esteja fechando as portas de injeção (160). O pistão (167) carrega três selos – um selo superior (169), um selo médio (170) e um selo inferior (172) – e quando o pistão está na posição para cima, como na figura 15, as portas de injeção (160) ficam entre o selo superior (169) e o selo médio (170).

Na figura 16, a válvula de pulso (23) estando fechada, a pressão do acumulador no espaço do acumulador (36) está aumentando – por exemplo, para 2.000 psi, como mostrada – enquanto que a pressão da formação está diminuindo, por exemplo, para 1.400 psi, como mostrada. Deste modo, na figura 16, o PDAF permanece em 600 psi, que é o nível mais alto que o PDAF alcança neste exemplo. A força

do PDAF atuante sobre o pistão (167) age para baixo, (isto é, na direção para abrir as portas de injeção (160)) é de magnitude alta – especialmente, porque, no equipamento das figuras 15 a 19, a superfície do acumulador da face superior do pistão, sobre a qual a
5 pressão do acumulador atua é de uma área maior do que a superfície da formação da face inferior do pistão, sobre a qual a pressão da formação atua. Opondo-se à força do PDAF agindo descendentemente no pistão está a ação ascendente da força de jorramento devido a mola do pistão (75). Também em oposição à força do PDAF está a pressão na
10 câmara do amortecedor (173).

O líquido na câmara do amortecedor (173) está, na figura 16, capacitado apenas a sair da câmara do amortecedor através da porta de constrição (174). O líquido que escapa pela porta de constrição emerge para o dreno (176) no pistão (167). O dreno (176) conecta-se
15 com espaço da formação do solo (32).

A porta de constrição (174) é suficientemente apertada para suportar um nível de pressão dentro da câmara do amortecedor (173) que é consideravelmente superior à pressão da formação, e assim a pressão na câmara do amortecedor é alta o bastante para prevenir que
20 o pistão se mova para baixo sobre a alta força do PDAF. A pressão do líquido no pistão do amortecedor depende das áreas relativas expostas à pressão que age no pistão; no exemplo mostrado, a pressão na câmara do amortecedor (173), sob as condições da figura 16, pode ser de 2.300 psi, por exemplo, (notando-se que as ditas áreas relativas podem
25 requerer que a pressão do amortecedor seja mais alta do que a pressão do acumulador).

Enquanto o líquido na câmara do amortecedor (173) escapa lentamente através da porta de constrição (174), também o pistão (167)

move-se lentamente para baixo. Na figura 16, o selo inferior (172) está prestes a se soltar do suporte (178).

Na figura 17, o selo inferior permanece abaixo do suporte (178), e a porta de descarga totalmente aberta (180) está aberta para a câmara do amortecedor (173). Pressão excessiva na câmara do amortecedor não é mais suportada, e a pressão da câmara do amortecedor diminui rapidamente até se igualar à pressão da formação do solo. A alta força do PDAF domina o pistão (167), direcionando o pistão forçosamente para baixo. Na figura 17, o selo superior (169) está começando a descobrir as portas de injeção (160), através do qual, a válvula de pulso começa a se abrir. O líquido explode para fora das portas de injeção (160), através do que a pressão do acumulador diminui e a pressão da formação do solo aumenta – respectivamente para, na figura 17, 1.950 psi e 1.450 psi, pelo que o PDAF é de 400 psi, e diminuindo.

Na figura 18, as portas de injeção (160) estão totalmente abertas e o líquido pressurizado do espaço do acumulador (36) é derramado para fora pelas perfurações (34) e para dentro da formação de solo.

A sequência de eventos que acontecem enquanto os componentes estão nas posições, mostradas na figura 18, serão descritas. O PDAF, embora caindo, mantém-se alto o suficiente para direcionar o pistão para baixo, contra a força do jorramento, até que o pistão tenha percorrido toda a rota para baixo na posição da figura 18. Esta extrema posição inferior pode ser alcançada quando o PDAF tiver diminuído para 350 psi. A válvula de pulso tem sido aberta por algum tempo e o volume de carga do líquido é injetado no solo, a pressão do acumulador diminui, a pressão da formação aumenta então o PDAF continua a diminuir. Eventualmente, a força do PDAF sobre o pistão

(167) diminui para 300 psi e os realizadores providenciaram (neste exemplo) que, a um PDAF de 300 psi, a força de jorrimento sobre o pistão esteja equalizada ou balanceada pela força do PDAF do pistão. Assim que o PDAF diminua para menos de 300 psi, por exemplo, abaixo
5 do nível de equalização, o pistão (167) será, portanto impelido a subir, isto é, a se mover na direção de fechar a válvula de pulso (23).

O pistão (167) fica impedido de se mover para cima, neste momento, apesar de o PDAF ser inferior a 300 psi, seu nível de equalização (ou seja, mesmo se a força de jorrimento exceder a força do
10 PDAF), porque um mecanismo de captura foi fornecido no equipamento. O pistão (167) é munido de uma ponta (185), que é um encaixe estreito dentro de uma câmara de captura (187). Quando o pistão percorreu um trajeto descendente (figura 17) e a ponta (185) entrou na câmara de captura (187), o fez sem restrição, em qualquer aumento da pressão
15 formada dentro da câmara de captura foi simplesmente descarregado através de uma válvula de inspeção do mecanismo de captura (189). A válvula de inspeção (189) está mostrada na posição "aberta" na figura 17.

Desta forma, o equipamento mantém-se, na figura 18, na
20 condição de totalmente para baixo, com a válvula de pulso ainda aberta e o PDAF ainda diminuindo. Quando o PDAF diminui abaixo do seu nível de equalização (300 psi, por exemplo), as forças impelindo o pistão (167) para cima e para fechar a válvula de pulso, continuam a aumentar e, conseqüentemente, a pressão pode aumentar na câmara de
25 captura (187). Esta pressão pode escapar apenas lentamente, por um orifício do mecanismo de captura (190). Por essa razão, o pistão (167) aumenta, mas apenas lentamente, conforme o PDAF diminui abaixo do nível de equalização.

Finalmente, o selo superior (169) fecha as portas de injeção (160), estando agora o PDAF no seu nível mais baixo, por exemplo, 100 psi (bem abaixo do nível de equalização), nesse instante, em que a válvula de pulso se fecha. O PDAF está ainda, neste momento, consideravelmente abaixo do seu nível de equalização, embora, a 5 válvula de pulso (23) esteja fechada, o PDAF está aumentando. O pistão (167) continua a subir lentamente, neste momento.

A figura 19 mostra a posição justamente no instante em que a ponta (185) está prestes a se retirar da câmara de captura (187) e 10 a válvula de pulso acabou de se fechar. Uma vez que a ponta esteja retirada, não há mais nenhuma restrição ao pistão (167) e o pistão move-se rapidamente para cima, até que alcance o topo da sua rota, mais uma vez, como mostrado na figura 15.

Pode se notar que o PDAF está ainda mais abaixo do que o 15 seu nível de equalização quando o pistão alcança o topo da rota. (O pistão não alcançaria o alto de sua rota (a posição da figura 15) se o PDAF chegasse acima do nível de equalização antes que o pistão atingisse aquele ponto). Pode-se observar também que a câmara do amortecedor (173) está apta a ser preenchida sem restrições com líquido do espaço da formação (32), via válvula de inspeção (192) do 20 amortecedor aberta, como mostrado na figura 19. Os realizadores sem dúvida têm que planejar a que níveis de PDAF querem que a válvula de pulso abra e feche, e tem que projetar as áreas do pistão, a força de jorramento, tamanho dos orifícios, etc, para que o equipamento 25 funcione operando a válvula de pulso nesses níveis.

Na figura 19, o PDAF está aumentando, e eventualmente ultrapassa seu nível de equalização. O pistão é impulsionado a se movimentar para baixo, na direção para abrir a válvula de pulso, mas é impedido de fazê-lo por um período de tempo como determinado pelo

amortecedor, que restringe a rota descendente do pistão. O pistão percorre para baixo lentamente, mas eventualmente o selo inferior (172), uma vez mais, se solta do suporte (178) e a válvula de pulso (23) abre novamente e o ciclo de pulsação continua.

5 No equipamento das figuras 15 a 19, a válvula de pulso (23) abre rapidamente, outra vez, pelas razões previamente descritas. A rápida abertura é concluída, como mostrado na figura 16, logo que a válvula de pulso se abre, a resistência do amortecedor diminui, quase instantaneamente, para zero, através do que a disponível força pesada
10 na direção que conduz a válvula de pulso aberta, proveniente do alto nível do PDAF, sendo subitamente desligada no pistão.

 O equipamento das figuras 15 a 19 é capaz de criar um grau de rechupe "*suckback*" do líquido, durante a porção de recuperação ou recarga (válvula de pulso fechada) do ciclo de pulsos. No
15 rechupe "*suckback*", um volume de líquido é sugado da formação de volta para o equipamento. Para montar o rechupe, uma cavidade de rechupe é criada dentro do equipamento, para criar espaço para o volume do líquido sugado de volta para fluir para dentro, depois que a válvula de pulso tenha fechado. (A cavidade de rechupe deve ser criada
20 depois que a válvula de pulso estiver fechada, porque, se a cavidade estivesse presente quando a válvula de pulso estava aberta, a cavidade seria preenchida com líquido do acumulador, não da formação do solo). Tal cavidade de rechupe é criada, neste caso, pelo fato de que, depois que a válvula de pulso (23) fechou, o pistão (167) continua sua rota
25 ascendente. Este movimento do pistão cria a cavidade aumentando efetivamente o volume do espaço da formação (32).

 Quando se injeta líquido no solo, aplicando pulsos ao líquido que está sendo injetado, pode ser em geral, observado como benéfico. Sem dúvida, qualquer sistema de injeção pode injetar mais

líquido simplesmente aumentando a pressão da injeção; de fato, em sistemas tradicionais de injeção, aumentar a pressão da injeção é frequentemente a única maneira de injetar mais líquido no solo. A presente tecnologia tem como objetivo prover um equipamento que possibilite a maximização da quantidade de líquido suplementar que pode ser injetado em uma formação de solo que está já mais do que saturado "acima da saturação" (e, portanto a pressão da formação é alta), na situação em que um aumento suplementar na pressão da injeção ou na pressão do acumulador não é permitida ou é de outro modo contra-indicada.

A tecnologia descrita aqui fornece um equipamento subterrâneo para injeção por pulsos de fluido pressurizado de um reservatório externo de fluido a partir de uma perfuração no solo para dentro da formação circundante. O equipamento inclui uma válvula de pulso, que é operável entre a condição de abertura e a condição de fechamento. Na condição de abertura, o fluido de um acumulador é habilitado a passar através da válvula e sair penetrando na formação em volta do poço ou perfuração. Os realizadores dispõem o equipamento, em relação ao reservatório de fluido pressurizado, para que quando a válvula de pulso se feche, durante a operação, a pressão do acumulador seja crescente e quando a válvula de pulso estiver aberta a pressão do acumulador seja decrescente. O alterado diferencial de pressão entre a pressão do acumulador e a pressão da formação é denominado PDAF. A tecnologia é especialmente aplicável quando o ambiente no qual o equipamento é utilizado é tal que as alterações no PDAF se dão gradualmente - quer dizer, quando, durante uma operação de injeção por pulso, o PDAF move-se do seu mais alto nível (no qual a válvula de pulso abre) até o nível mais baixo (no qual a válvula de pulso

fecha) o faz dessa forma por um período de tempo que é da ordem de um segundo.

A presente tecnologia seria menos eficiente num caso em que o PDAF diminuísse do mais alto para o mais baixo nível em menos de, por exemplo, um décimo de segundo. Também, se levasse mais de, por exemplo, dez segundos para o PDAF alterar, os efeitos benéficos da pulsação tenderiam a se perder. (Algumas raras combinações de, por exemplo, viscosidade do líquido e porosidade/permeabilidade da formação pode impor parâmetros operacionais, fora destes limites).

O equipamento inclui um pistão de válvula. Equipamentos variantes são mostrados na figura 1, figuras 2 a 4, figuras 5 a 8 e figuras 15 a 19, e em cada variante, uma superfície do acumulador do pistão de válvula é exposta à pressão do acumulador e a uma superfície de formação de face oposta do pistão de válvula é exposta à pressão da formação do solo. Dado que a pressão do acumulador é, durante a operação do equipamento, superior à da pressão da formação, o PDAF provoca a elevação de uma força resultante que age no pistão de válvula.

Os realizadores equiparam para que esta força do PDAF no pistão de válvula faça impulsionar o pistão de válvula a mover-se na direção em que abra a válvula de pulso, tirando-a da posição fechada (ou, se a válvula de pulso já estiver aberta, na direção de manter a válvula de pulso na posição aberta), e dispõem de tal forma que quanto mais alto o PDAF, mais forçosamente o pistão de válvula induz a válvula de pulso a abrir.

Em cada variante, há também um mecanismo de indução que exerce uma força de indução no pistão de válvula, impelindo o pistão de válvula a mover-se na direção de fechar ou manter fechada a válvula de pulso. O mecanismo de indução é convenientemente uma

mola mecânica, por exemplo, uma mola em serpentina. O mecanismo de indução deve ser capaz de exercer a força de indução sobre o pistão mesmo que o pistão de válvula se mova para diferentes locações, e o meio de indução deve ser preparado para que a força de indução permaneça razoavelmente constante com a oscilação do movimento do pistão de válvula, mantendo a máxima força de indução em não mais do que o dobro da mínima força de indução com a oscilação do movimento do pistão de válvula. Uma estrutura como uma serpentina a gás é também capaz de exercer a força de indução com o preferido grau de constância.

A magnitude da força de indução deve ser estabelecida (pelos realizadores e/ou os engenheiros operacionais) de forma a que exista, na operação do equipamento, um nível de equalização do PDAF. O nível de equalização do PDAF é aquele nível do PDAF no qual a força do PDAF agindo no pistão na direção de abrir a válvula de pulso é equilibrada pela força de indução atuando no pistão na direção de fechar a válvula de pulso. Nos equipamentos representados, quando o equipamento é operado em um ambiente no qual o PDAF varia numa faixa desde um nível máximo até um nível mínimo, durante o curso da pulsação, a magnitude da força de indução deve ser tal que o nível de equalização do PDAF diminua entre os limites mais altos desejados e o mais baixo esperado do PDAF. Quando a força de indução fica dentro desta faixa, o equipamento passa por vários ciclos automaticamente entre uma fase da injeção na qual a válvula de pulso está aberta e o fluido está sendo injetado na formação e o PDAF está diminuindo e uma fase de recuperação ou de recarga em que a válvula de pulso se encontra fechada e o PDAF está aumentando.

Os equipamentos apresentados estão desenhados para que, quando a válvula de pulso se abrir, o PDAF diminua, e quando a válvula

de pulso fechar, o PDAF aumente. A válvula de pulso abre quando o PDAF, em ascensão, tiver atingido seu nível mais alto e a válvula de pulso fecha quando o PDAF, em declínio, tiver atingido seu mais baixo nível – ou, em outras palavras, o mais alto nível do PDAF ocorre
5 exatamente antes que a válvula de pulso abra, e o nível mais baixo do PDAF ocorre exatamente antes que a válvula de pulso feche. Os parâmetros passíveis de ser planejados e adaptados incluem a intensidade e a força de jorramento e as áreas relativas da superfície do acumulador do pistão (que é exposto à pressão do acumulador) e a
10 superfície de formação do pistão (que é exposta à pressão da formação).

Nos desenhos apresentados das figuras 5 a 8 e figuras 15 a 19, quando a válvula de pulso está fechada é travada para abrir providenciando um inibidor de abertura, que é montado primeiro para restringir o movimento do pistão da válvula, e depois para desabilitar ou
15 liberar esta restrição. O engenheiro deve montar o inibidor programando-o para ser de uma duração tal que capacite o ascendente PDAF a subir até ao desejado mais alto nível do PDAF, ao mesmo tempo em que o inibidor libere o pistão da válvula.

Na variante de equipamento das figuras 15 a 19, um
20 inibidor prorrogador de tempo correspondente é também providenciado em relação ao fechamento da válvula de pulso, para assegurar que a válvula de pulso continue aberta até que o PDAF tenha diminuído abaixo do nível de equalização do PDAF.

Assim, no desenho das figuras 5 a 8, o mais baixo PDAF
25 coincide com o fechamento da válvula de pulso, pelo que nenhum inibidor de fechamento é requerido. Nas figuras 15 a 19, o fechamento da válvula de pulso é prorrogado, pelo que o PDAF diminui abaixo do nível de equalização do PDAF antes que a válvula de pulso feche.

Logo antes que a válvula de pulso feche, o PDAF diminuiu até seu nível mais baixo e uma vez que a válvula de pulso feche o PDAF começa a aumentar. Isto quer dizer que a válvula de pulso estando fechada, o fluido pressurizado do reservatório reabastece ou recarrega o acumulador, e assim a pressão do acumulador começa a aumentar; e também, a válvula de pulso estando fechada e nenhum líquido suplementar sendo injetado na formação, o fluido que acabou de ser injetado dissipa-se na formação, e assim a pressão da formação começa a diminuir. Quando a válvula de pulso está fechada, o PDAF aumenta.

Logo antes que a válvula de pulso abra, o PDAF aumentou até ao mais alto nível e uma vez que a válvula de pulso abre, o PDAF começa a diminuir. Quer dizer, a válvula de pulso estando aberta o fluido pressurizado do acumulador escoar para fora pela válvula de pulso, através do qual a pressão do acumulador diminui e a pressão da formação aumenta. Quando a válvula de pulso está aberta o PDAF diminui.

Nos desenhos apresentados, quando a válvula de pulso abre e o PDAF está diminuindo, chega um ponto em que a válvula de pulso é engatilhada para fechar; e quando a válvula de pulso está fechada e o PDAF está aumentando, chega um ponto em que a válvula de pulso é engatilhada para abrir. O fator que impede a válvula de pulso de abrir é que o pistão, tendo se movimentado lentamente na direção da posição na qual o pistão abre a válvula de pulso, afasta, por exemplo, expõe a irrestrita, isto é totalmente porta (que é a abertura (61) do canal (63) na figura 8 e a bordo (188) da câmara de captura (187) na figura 15), sobre a qual o pistão se move muito rapidamente para abrir a válvula de pulso. Enquanto o pistão estava se movendo lentamente na direção da posição de abertura da válvula, sem dúvida o PDAF estava

aumentando. Mas o gatilho que abre a válvula de pulso é o fato de que o pistão expõe a total abertura de um canal.

5

10

Deste modo, o equipamento, construído e arranjado e operado como descrito, alterna automaticamente entre a condição de
15 abertura da válvula de pulso (injeção) e a condição de fechamento da válvula de pulso (recuperação ou recarga), e assim injeta automaticamente pulsos de fluido pressurizado em uma formação de solo em uma frequência cíclica.

20

Conforme mencionado, preferencialmente, o fluido deve ser expelido da válvula de pulso e para fora na formação do solo, a alta pressão, e com uma onda energética de porosidade. A chave para alcançar esta preferência é reter a válvula de pulso para não abrir até
25 que o PDAF tenha aumentado até um alto nível (que geralmente deve ser o mais alto possível, dentro dos limites permitidos de pressão do poço) e, quando a válvula de pulso finalmente se abre, assegurando que a válvula de pulso mude da condição fechada para a condição totalmente aberta o mais rápido possível.

Preferivelmente, o alto nível do PDAF, no momento da abertura, deve ser alto o bastante para induzir a válvula de pulso a abrir explosivamente. Desta forma, a preferência por ter um grande PDAF disponível quando a válvula se abre, e a preferência por fazer a

5 válvula abrir explosivamente, são bastante compatíveis entre si, e ambas podem ser conseguidas com a provisão de um mecanismo inibidor.

O que se segue é uma lista dos numerais utilizados nos desenhos:

- 10 (20) equipamento de pulsação;
- (21) corpo tubular;
- (23) válvula de pulso;
- (25) membro da válvula móvel;
- (27) pistão;
- 15 (29) formação do solo;
- (30) revestimento de proteção do poço;
- (32) espaço anular;
- (34) perfurações;
- (36) zona/espaco do acumulador;
- 20 (38) mola da válvula;
- (40) sede da válvula;
- (41) selo de equilíbrio da válvula;
- (43) martelo;
- (45) mola do martelo;
- 25 (47) válvula de pulso;
- (49) membro da válvula;
- (50) eixo;
- (52) unidade amortecedora;
- (54) martelo;

- (56) suporte;
- (58) bucha axialmente flutuante;
- (60) extremidade superior da bucha;
- (61) abertura do...
- 5 (63) canal de óleo;
- (65) orifício;
- (67) volume fechado;
- (69) corpo do equipamento;
- (70) cabeça do 54;
- 10 (72) borda no 54;
- (74) pistão equalizador;
- (76) acumulador pressurizado à gás;
- (78) câmara de gás;
- (80) pistão do acumulador;
- 15 (81) tubo do acumulador;
- (83) canal do acumulador;
- (85) válvula de retenção;
- (87) mola da válvula de retenção;
- (90) ponta;
- 20 (92) orifício;
- (93) espaço;
- (94) válvula de inspeção de injeção;
- (96) pistão da ICV;
- (98) mola da ICV;
- 25 (100) sede da ICV;
- (101) corredor;
- (103a) área superior ao limitador (105);
- (103b) área inferior ao limitador (105);
- (105) limitador;

- (107) orifício;
- (109) área inferior a ICV (94);
- (120) subconjunto de injetor estático – figura 13;
- (121) equipamento tubular superior;
- 5 (123) canal do SIS;
- (125) válvula de inspeção do SIS;
- (127) obturador inflável;
- (129) obturador acima do espaço anular;
- (160) portas de injeção – figura 15;
- 10 (163) corpo do equipamento;
- (167) pistão;
- (169) selo superior;
- (170) selo médio;
- (172) selo inferior;
- 15 (174) porta de constrição;
- (176) dreno;
- (178) suporte;
- (180) porta de descarga;
- (185) ponta;
- 20 (187) câmara de captura;
- (189) válvula de inspeção de captura;
- (190) orifício de captura; e
- (192) válvula de inspeção do amortecedor.

REIVINDICAÇÕES

1. EQUIPAMENTO SUBTERRÂNEO (20, 163) PARA INJEÇÃO À PULSO DE UM FLUIDO PRESSURIZADO DE UM
5 RESERVATÓRIO DE FLUIDO EXTERNO A PARTIR DE UMA PERFURAÇÃO NO SOLO NA FORMAÇÃO DO SOLO CIRCUNDANTE (29), em que o equipamento (20,163) compreende uma válvula de pulso (23, 47), tendo um membro de válvula (25, 49) e uma cobertura de válvula; o membro de válvula (25, 49) ser móvel em relação a cobertura de válvula
10 entre uma posição aberta da válvula de pulso (23, 47), na qual o fluido pressurizado pode passar através da válvula de pulso (23, 47) para fora do equipamento (20, 163) e dentro da formação do solo (29), e uma posição fechada; o equipamento (20, 163) inclui um acumulador (36), que é construído para armazenar o fluido pressurizado do reservatório de fluido
15 em uma magnitude de pressão denominada pressão do acumulador (36), preparada para apresentação na válvula de pulso (23, 47); o diferencial de pressão entre a pressão do acumulador (36) e a pressão hidráulica na formação de solo (29), denominada pressão da formação, é denominada PDAF; o equipamento (20, 163) e o reservatório de fluido ser preparado
20 de forma que, durante a operação, quando a válvula de pulso (23, 47) estiver fechada o PDAF aumente e quando a válvula e pulso (23, 47) estiver aberta o PDAF diminua, **caracterizado** pelo fato de que:

o equipamento (20, 163) inclui um cilindro de válvula e pistão de válvula (27, 167) relativamente móvel;

25 o pistão de válvula (27, 167) é conectado ao membro da válvula (25, 49) de forma a ser, ao mesmo tempo, movível;

o equipamento (20, 163) é edificado para que uma superfície do acumulador (36) do pistão de válvula (27, 167) fique exposta à pressão do acumulador (36) e uma superfície da formação, pelo que o pistão de

válvula (27, 167) fica sujeito a uma força resultante denominada força do PDAF;

o equipamento (20, 163) é construído para que a válvula do pistão (27, 167) seja selada na válvula do cilindro, em que a superfície do acumulador (36) da válvula do pistão (27, 167) ser selada a partir da
5 superfície da formação e permanece selada por todo tempo durante a operação do equipamento (20, 163);

o equipamento (20, 163) é montado para que, em operação, sendo a pressão do acumulador (36) mais alta do que a pressão da
10 formação, a força do PDAF agindo no pistão de válvula (27, 167) é direcionada para induzir o pistão de válvula (27, 167) a abrir a válvula de pulso (23, 47);

o equipamento (20, 163) inclui um mecanismo de indução do pistão, por exemplo, uma mola, que provê uma força de indução que age
15 sobre o pistão de válvula (27, 167) na direção para fechar a válvula de pulso (23, 47).

2. EQUIPAMENTO (20, 163), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que

20 a magnitude da força de indução ser tanta que existe, ao operar o equipamento (20, 163), uma equalização do nível do PDAF;

o nível de equalização do PDAF ser um nível do PDAF no qual a força do PDAF que age sobre o pistão na direção de abrir a válvula de pulso (23, 47) ser equilibrado pela força de indução atuando sobre o
25 pistão na direção de fechar a válvula de pulso (23, 47); e

através de que, quando o equipamento (20, 163) for operado em um ambiente em que o PDAF varia da faixa de intensidade, de um mais alto nível até um mais baixo nível, durante o curso da pulsação e

quando a magnitude da força de indução é tal que o nível de equalização do PDAF diminui dentro da dita faixa de intensidade, o equipamento (20, 163) automaticamente cria um ciclo entre uma fase de injeção na qual a válvula de pulso (23, 47) está aberta e o fluido está sendo injetado na
5 formação e o PDAF está diminuindo e uma fase de recuperação ou recarga, na qual a válvula de pulso (23, 47) está fechada e o PDAF está aumentando.

3. EQUIPAMENTO (20, 163), de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que

10 o equipamento (20, 163) inclui um gatilho de abertura, que é eficiente, tendo a válvula de pulso (23, 47) sido fechada, primeiro, para prevenir a válvula de pulso (23, 47) de abrir e depois em liberar a válvula de pulso (23, 47) para abrir;

o gatilho de abertura inclui um inibidor de abertura
15 operável, que opera em resposta ao fechamento da válvula de pulso (23, 47), e é eficiente, quando operado, em inibir a válvula de pulso (23, 47) para abrir;

o gatilho de abertura inclui um mecanismo para desabilitar o inibidor de abertura, que opera em resposta ao PDAF que aumenta, por
20 um período de tempo, a um alto nível do PDAF;

o mecanismo para desabilitar o inibidor de abertura e em liberar a válvula de pulso (23, 47) para abrir.

4. EQUIPAMENTO (20, 163), de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de que

25 o inibidor de abertura inclui paredes que definem uma câmara do amortecedor de volume variável;

o inibidor de abertura é eficiente em habilitar a válvula de pulso (23, 47) a permanecer fechada, por um período de tempo, mesmo se o PDAF crescente tiver aumentado acima do nível de equalização;

5 o inibidor de abertura é arranjado de tal forma que a presença do fluido pressurizado na câmara do amortecedor é eficaz para inibir o movimento do pistão de válvula (27, 167) na direção de abrir a válvula de pulso (23, 47);

o dito período de tempo é determinado para estrutura do amortecedor;

10 as paredes da câmara do amortecedor incluem uma porta constrita, que é estruturada para que o fluido possa apenas escoar para fora da câmara do amortecedor em uma baixa vazão;

as paredes da câmara do amortecedor incluem uma porta ampla, que é estruturada para que, quando a porta ampla está aberta, o
15 fluido pode sair da câmara do amortecedor através dela a uma vazão rápida;

as paredes da câmara do amortecedor possa entrar na câmara do amortecedor;

o mecanismo para desabilitar o inibidor de abertura inclui
20 uma configuração da porta ampla em relação ao pistão de válvula (27, 167) tal que o fluido possa apenas sair da câmara do amortecedor através da porta ampla depois que uma substancial quantidade do fluido já tenha escapado da câmara do amortecedor pela porta constrita e após o volume da câmara do amortecedor ter diminuído substancialmente;

25 o período de tempo inicia-se, quando, a câmara do amortecedor tendo sido novamente completada, o fluido começa a escoar para fora da câmara do amortecedor através da porta constrita; e

o período de tempo termina quando o fluido começa a sair da câmara do amortecedor a uma vazão rápida pela porta ampla.

5. EQUIPAMENTO (20, 163), de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que

5 a câmara do amortecedor e uma câmara de recuperação serem, respectivamente, sub-câmaras do mecanismo inibidor;

a porta constrita, a porta ampla, e a porta de entrada, comunicam a câmara do amortecedor e a câmara de recuperação juntas formam uma câmara inibidora do mecanismo de inibição do equipamento
10 (20, 163);

o mecanismo inibidor é construído para que, durante a operação, a câmara de recuperação esteja em comunicação de equalização de pressão com a câmara da formação; e/ou;

a câmara inibidora é uma câmara fechada, selada, contendo
15 uma quantidade fixa de líquido de amortecedor; ou

a câmara de recuperação do inibidor é uma comunicação de transporte de fluido aberta com a formação, pelo que a pressão do fluido na câmara de recuperação se equaliza substancialmente à pressão da formação.

20 6. EQUIPAMENTO (20, 163), de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que

o equipamento (20, 163) inclui um gatilho de fechamento, que é eficiente, tendo a válvula de pulso (23, 47) aberto, primeiro para prevenir a válvula de pulso (23, 47) de fechar, de depois para liberar a
25 válvula de pulso (23, 47) para fechar;

o gatilho de fechamento inclui um inibidor de fechamento operável, que opera em resposta à abertura da válvula de pulso (23, 47), e é eficiente, quando operado, para inibir a válvula de pulso (23, 47) de fechar;

- 5 o gatilho de fechamento inclui um mecanismo para desabilitar o inibidor de fechamento, que opera em resposta ao PDAF que está diminuindo, por um período de tempo, a um nível baixo do PDAF;

 o mecanismo para desabilitar o inibidor de fechamento é eficaz, quando operado para desabilitar o inibidor de fechamento e pra
10 liberar a válvula de pulso (23, 47) para fechar.

7. EQUIPAMENTO (20, 163), de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que

o inibidor de fechamento inclui paredes que definem uma câmara de captura de volume variável;

- 15 o inibidor de fechamento é eficiente em capacitar a válvula de pulso (23, 47) a permanecer aberta, por um período de tempo, mesmo se o decrescente PDAF tiver diminuído abaixo do seu nível de equalização;

 o inibidor de fechamento é construído para que a presença
20 fluido a pressão reduzida na câmara de captura seja eficaz para inibir o movimento do pistão de válvula (27, 167) na direção de fechar a válvula de pulso (23, 47);

o dito período de tempo é determinado pela estrutura do recipiente de captura;

as paredes da câmara de captura incluem uma porta constrita, que está estruturada para que o fluido possa apenas escoar para dentro da câmara de captura a um vazão restrita;

as paredes da câmara de captura incluem uma porta ampla,
5 que está estruturada para que, quando a porta ampla se abra, o fluido possa entrar na câmara de captura a uma vazão rápida;

as paredes da câmara de captura incluem uma porta de recarga, através da qual o fluido dentro da câmara de captura a uma alta pressão maior do que o fluido fora da câmara de captura possa sair da
10 câmara de captura;

o mecanismo para desabilitar o inibidor de fechamento inclui a colocação da porta ampla em relação ao pistão de válvula (27, 167) de forma que o fluido possa apenas entrar na câmara de captura pela porta ampla depois que uma quantidade substancial de fluido já tenha
15 entrado na câmara de captura pela porta constrita, e depois que o volume da câmara de captura tenha, por consequência, aumentado substancialmente;

o período de tempo se inicia quando o fluido começa a escoar para dentro da câmara de captura através da porta constrita; e

20 o período de tempo termina quando o fluido começa a entrar na câmara de captura a uma vazão rápida pela porta ampla.

8. EQUIPAMENTO (20, 163), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que

o acumulador (36) é localizado no equipamento (20, 163)
25 muito proximidade a válvula de pulso (23, 47);

o acumulador (36) inclui um acumulador de resiliência, que está construído para que:

- o volume da câmara do acumulador (36) seja variável em proporção com a pressão do acumulador (36);

5 – o volume da câmara do acumulador (36) seja variável substancialmente superior a toda faixa de pressão do acumulador (36), sendo a faixa pela qual, durante a operação do equipamento (20, 163), o PDAF está no seu mais alto ou mais baixo nível, ou qualquer nível entre eles, incluindo o dito nível de equalização;

10 o acumulador de resiliência inclui, preferivelmente, um volume fechado de um gás pressurizado.

9. EQUIPAMENTO (20, 163), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que

15 o equipamento (20, 163) inclui uma válvula de inspeção de injeção (ICV);

a ICV inclui um pistão da ICV e uma mola da ICV;

a ICV inclui um canal principal da ICV através do qual o fluido do reservatório passa, para ser conduzido à válvula de pulso (23, 47);

20 o pistão da ICV inclui um limitador ou abafador, pelo qual o dito fluxo no canal principal da ICV também passa;

o limitador tem uma área de condução do fluxo menor do que o canal principal da ICV, tanto que quando a vazão através do canal da ICV é rápida, um diferencial de pressão se desenvolve entre o lado montante e o lado jusante do limitador, sendo a magnitude do diferencial
25 proporcional à vazão através do limitador;

o pistão da ICV é movível em resposta ao dito diferencial de pressão, junto da mola da ICV, de maneira que possa fechar uma válvula de controle de fluxo da ICV;

através do qual a vazão através do canal da ICV é inibida
5 por si mesma.

10. EQUIPAMENTO (20, 163), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que

o equipamento (20, 163) inclui uma subconjunto de injeção estática (SIS);

10 a SIS inclui um canal da SIS através do qual o fluido do reservatório passa, para ser conduzido até a válvula de pulso (23, 47);

a SIS inclui uma válvula de inspeção do SIS que está estruturada e localizada de forma a habilitar a pressão excessiva dentro do canal do SIS a emergir para a formação, sem passar pela válvula de pulso
15 (23, 47).

11. EQUIPAMENTO (20, 163), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do equipamento (20, 163) incluir um acumulador (36), uma ICV, e um SIS, que são estruturados, no equipamento (20, 163) da perfuração do poço, acima da válvula de pulso
20 (23, 47) e um acima do outro.

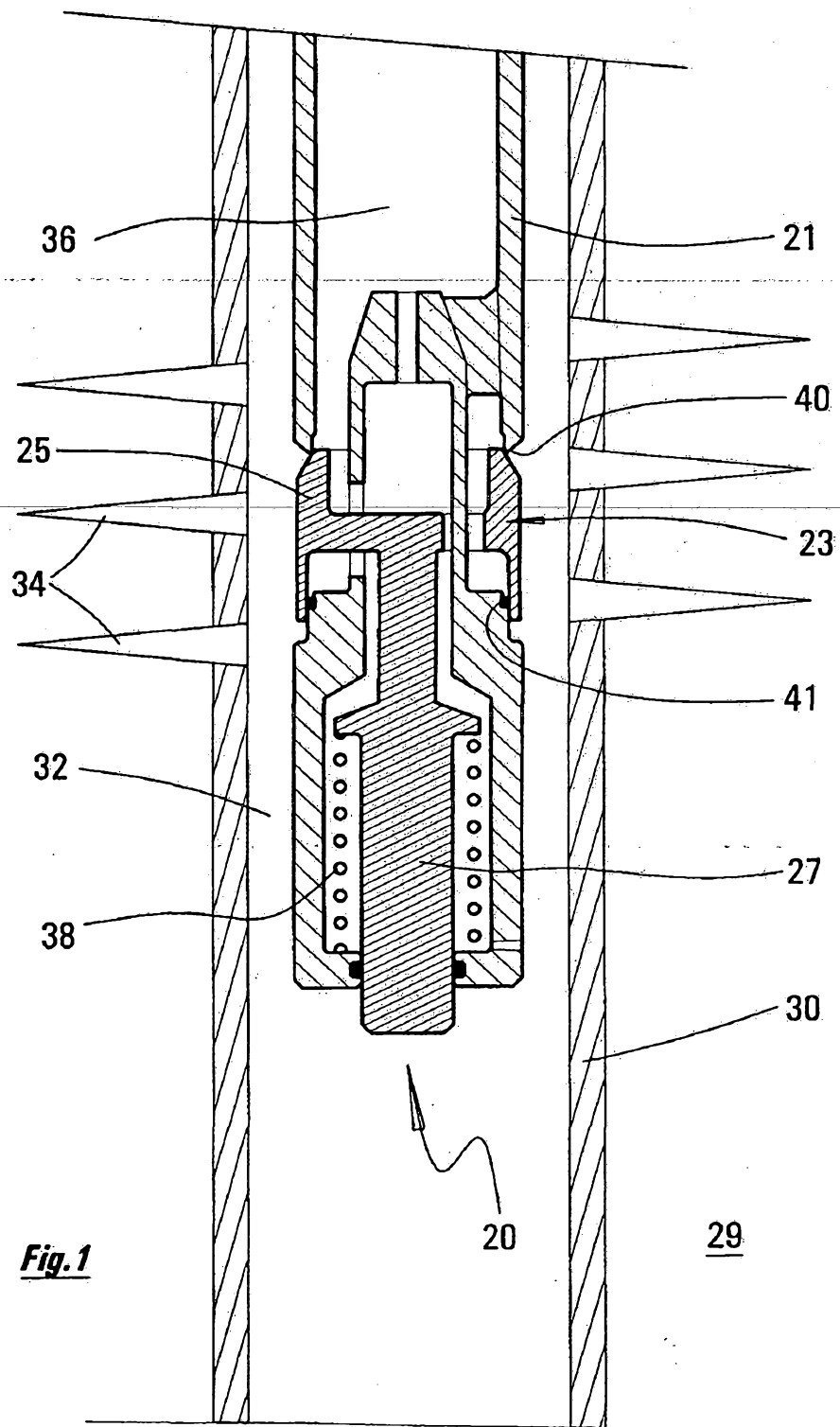
FIGURA 1***Fig. 1***

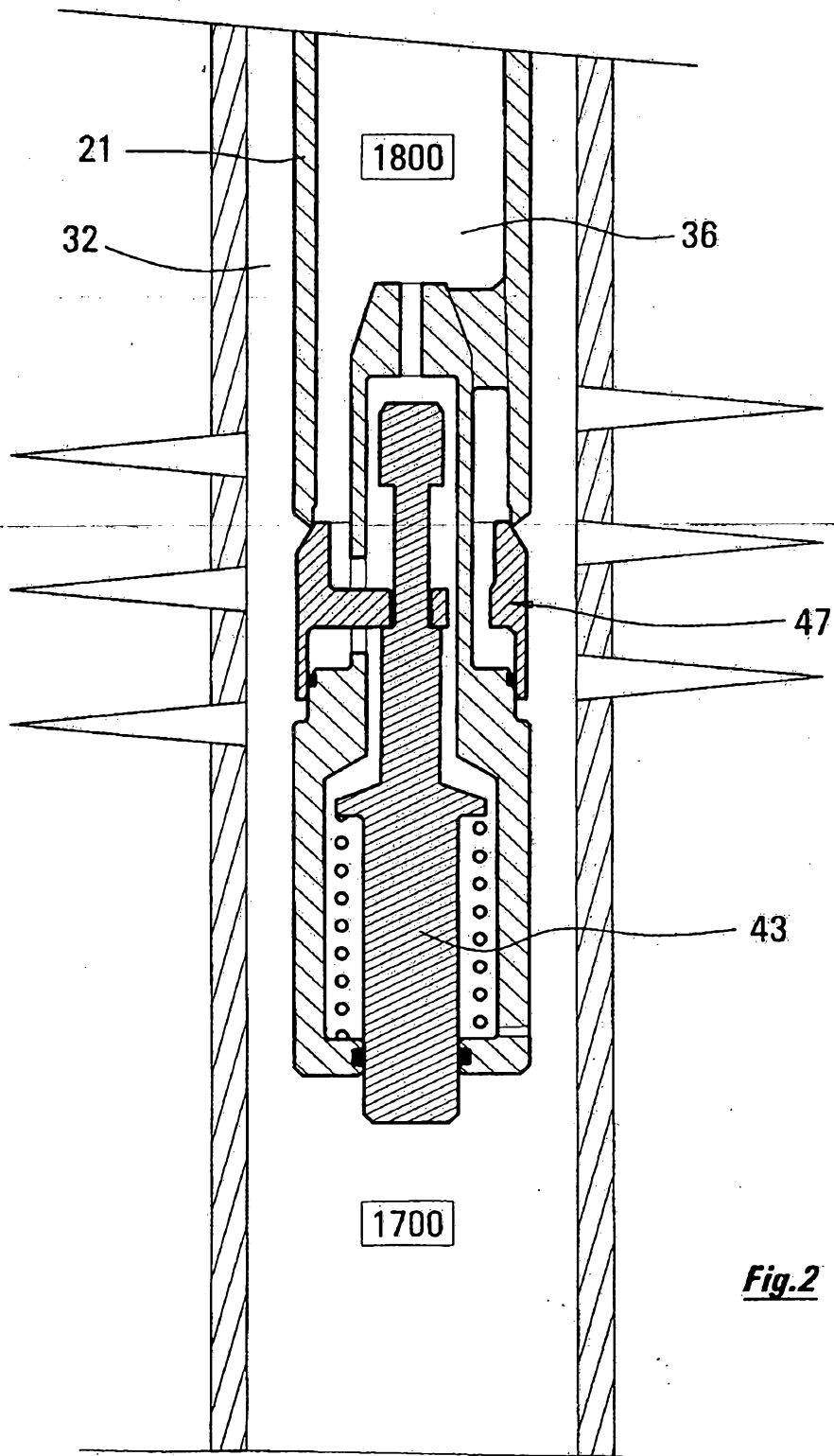
FIGURA 2***Fig.2***

FIGURA 3

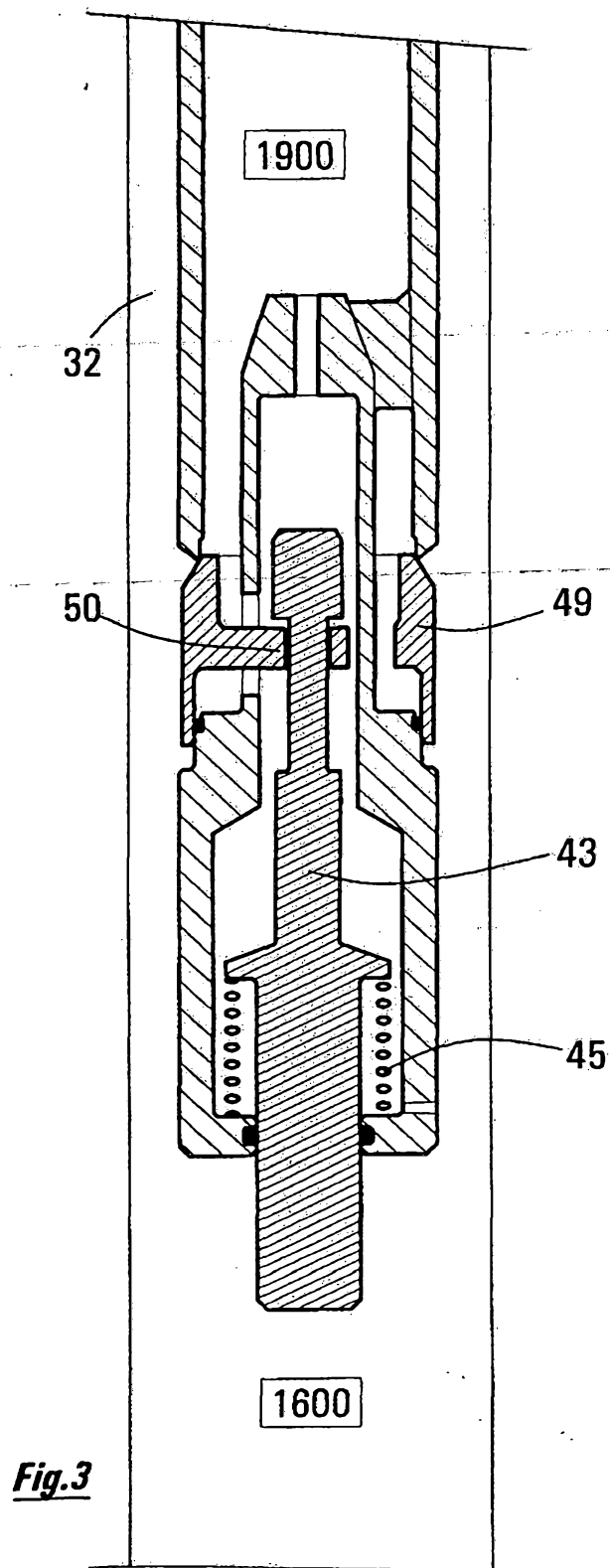


FIGURA 4

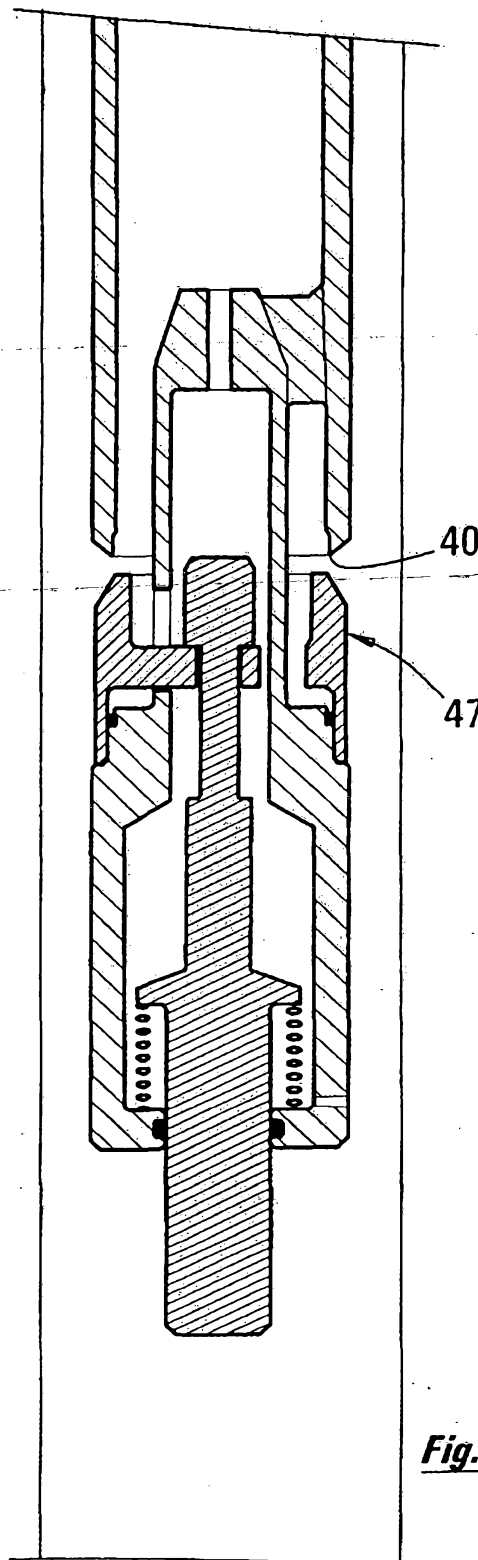


Fig.4

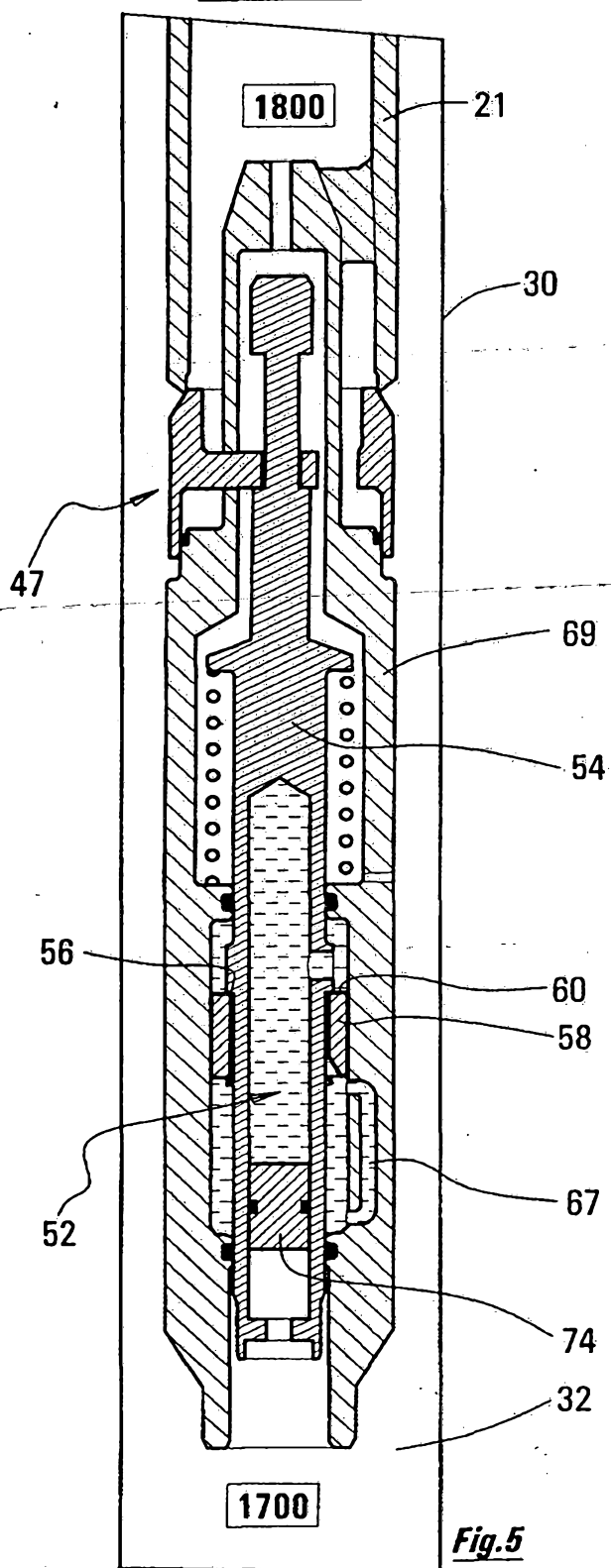
FIGURA 5

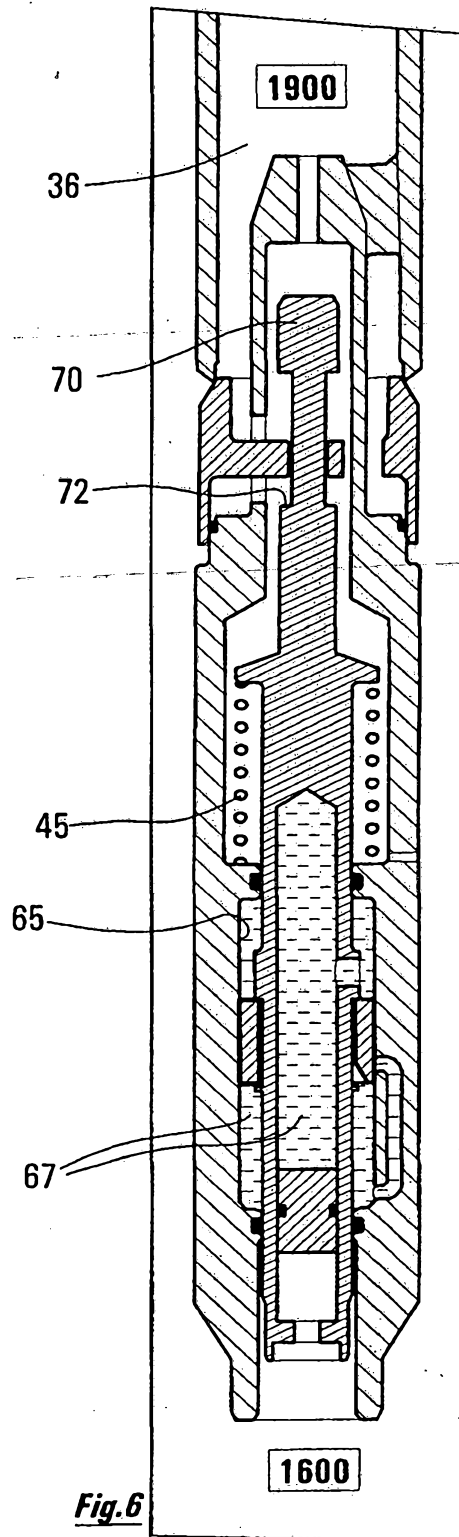
FIGURA 6

FIGURA 7

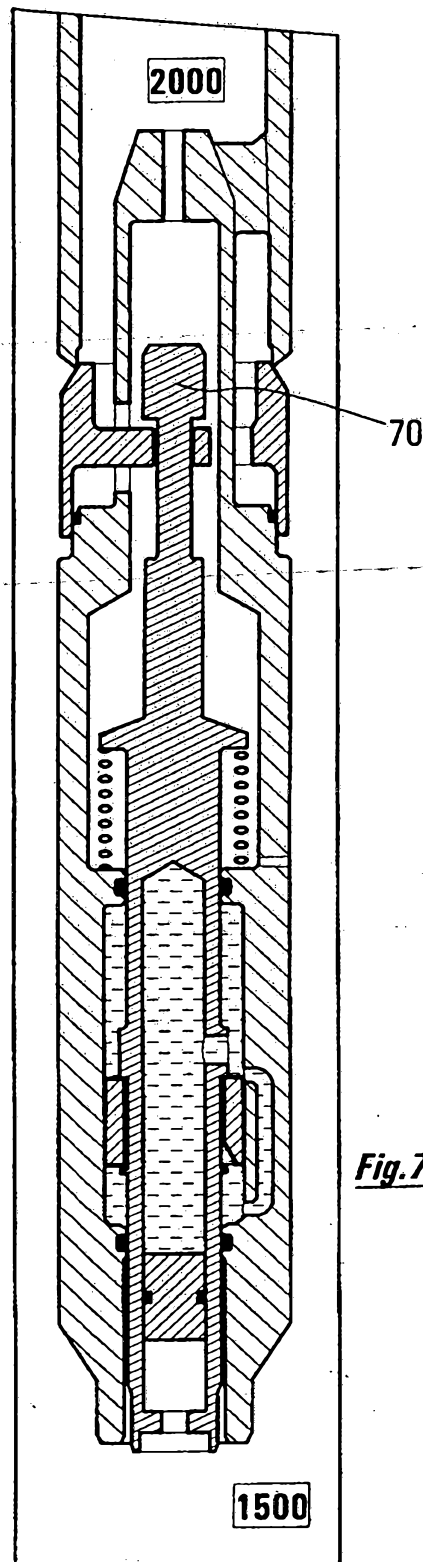


Fig. 7

FIGURA 8

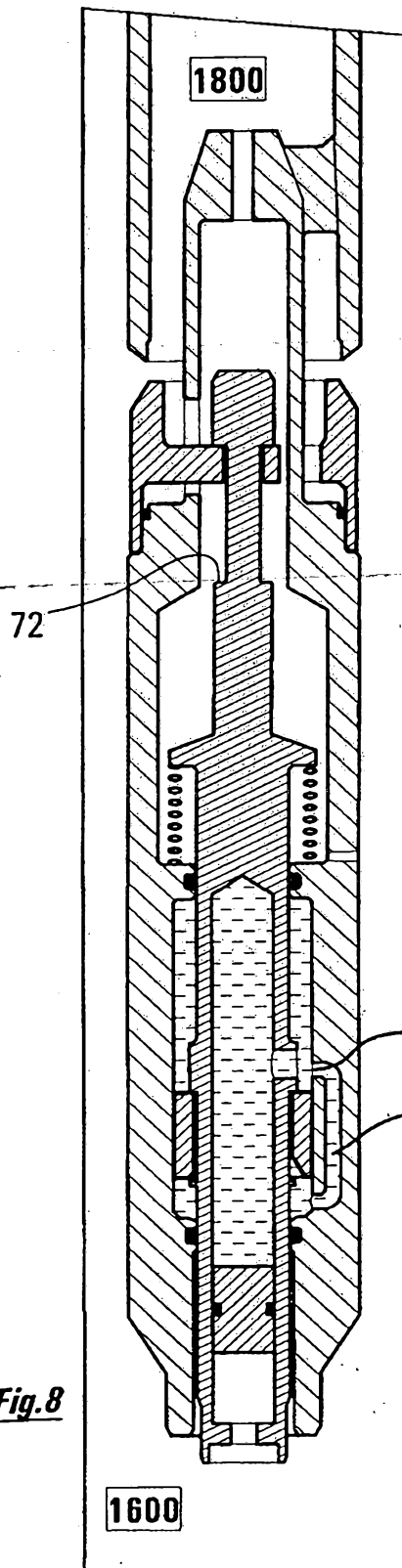


Fig. 8

FIGURA 9

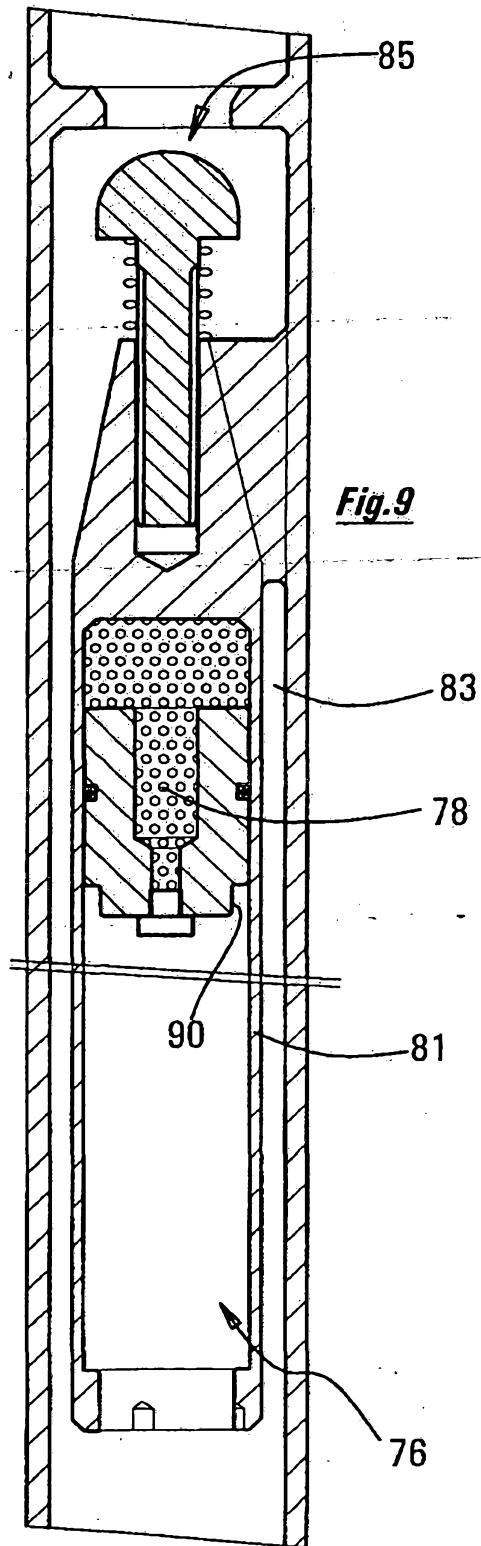


FIGURA 10

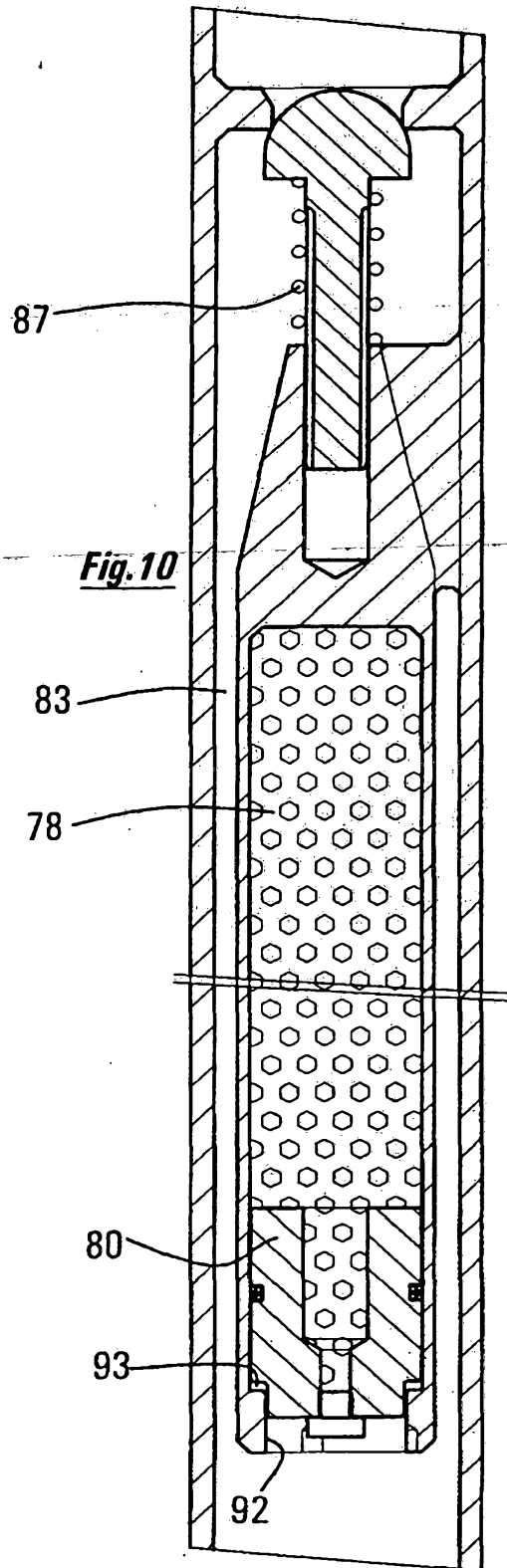


FIGURA 11

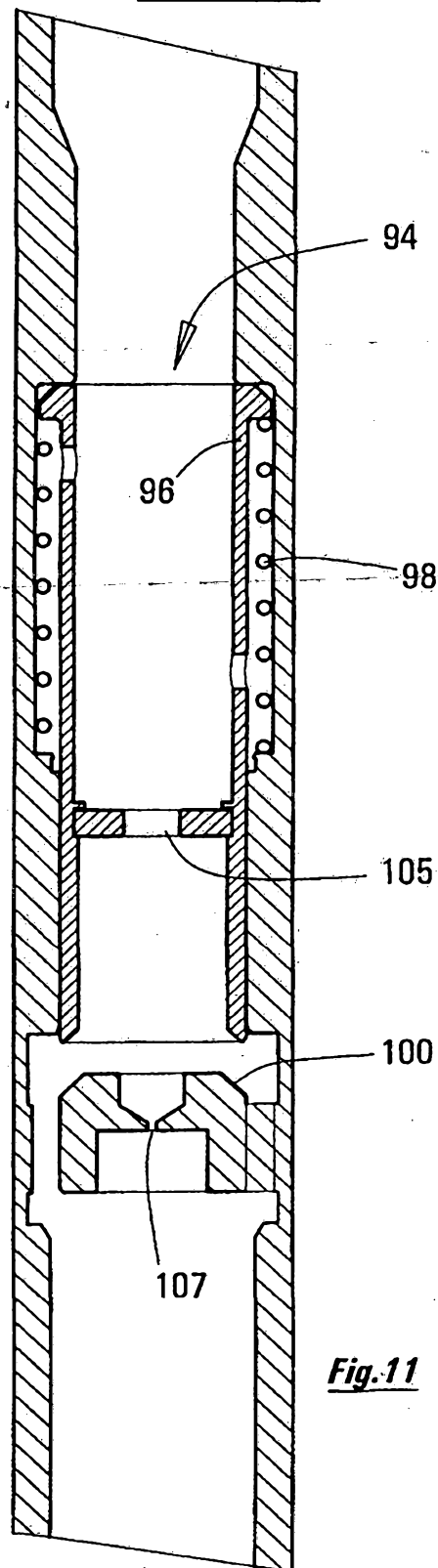


Fig.11

FIGURA 12

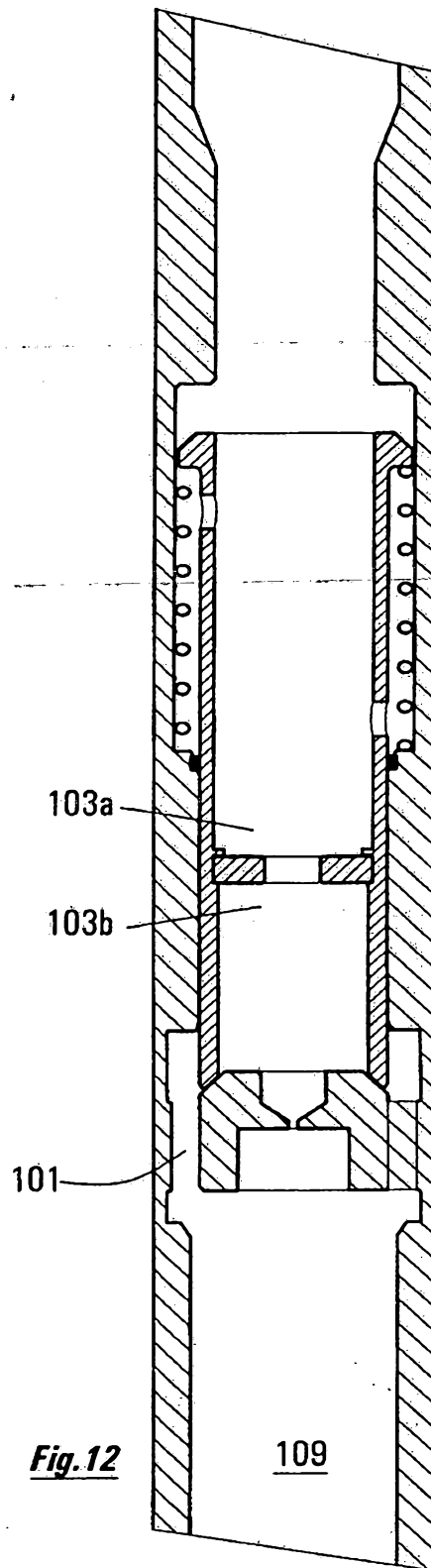


Fig.12

109

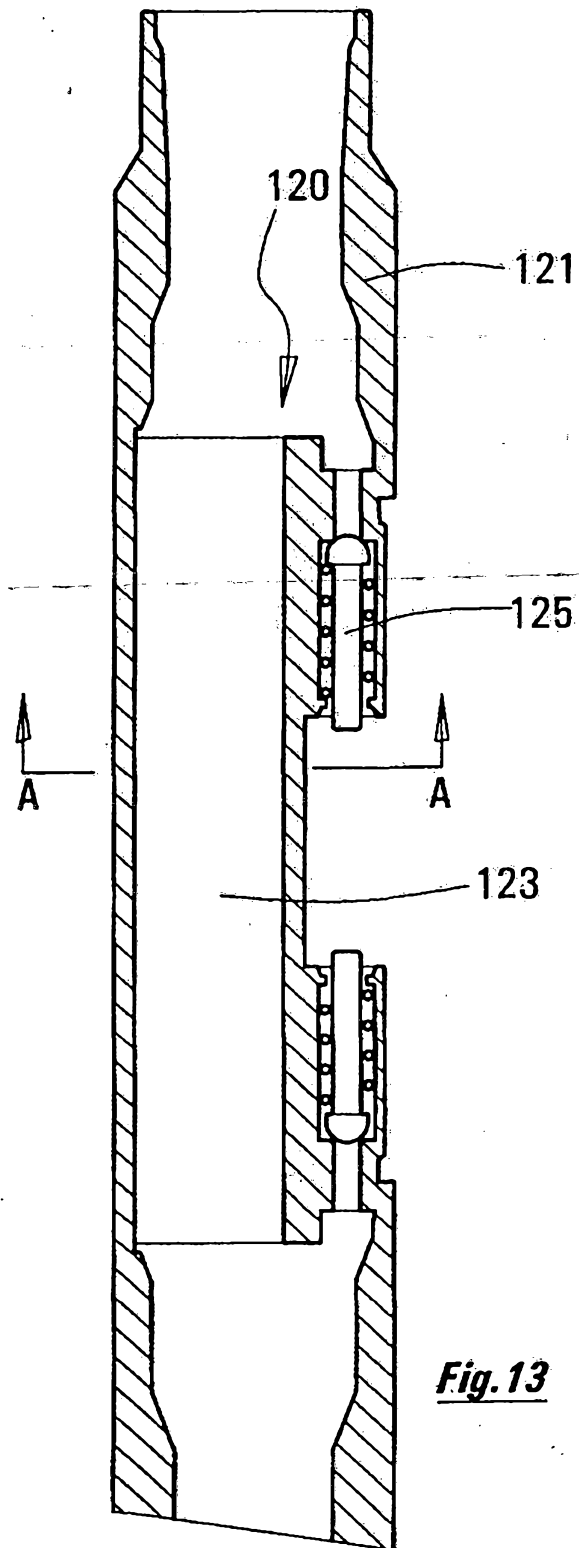
FIGURA 13***Fig. 13***

FIGURA 13a

Fig. 13a

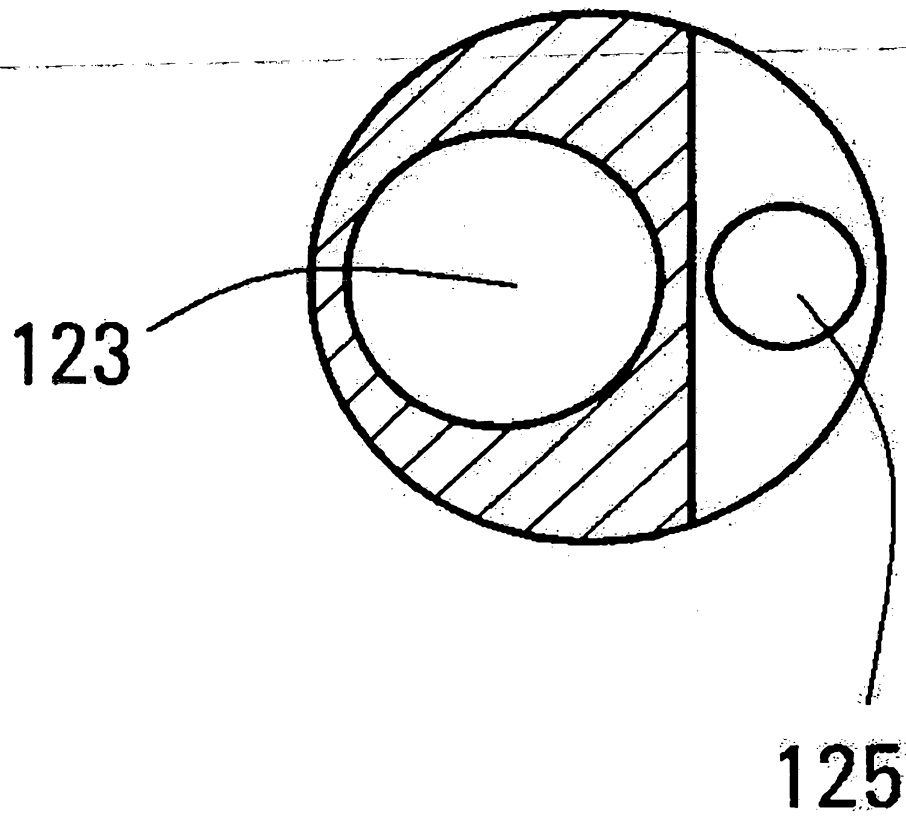


FIGURA 14

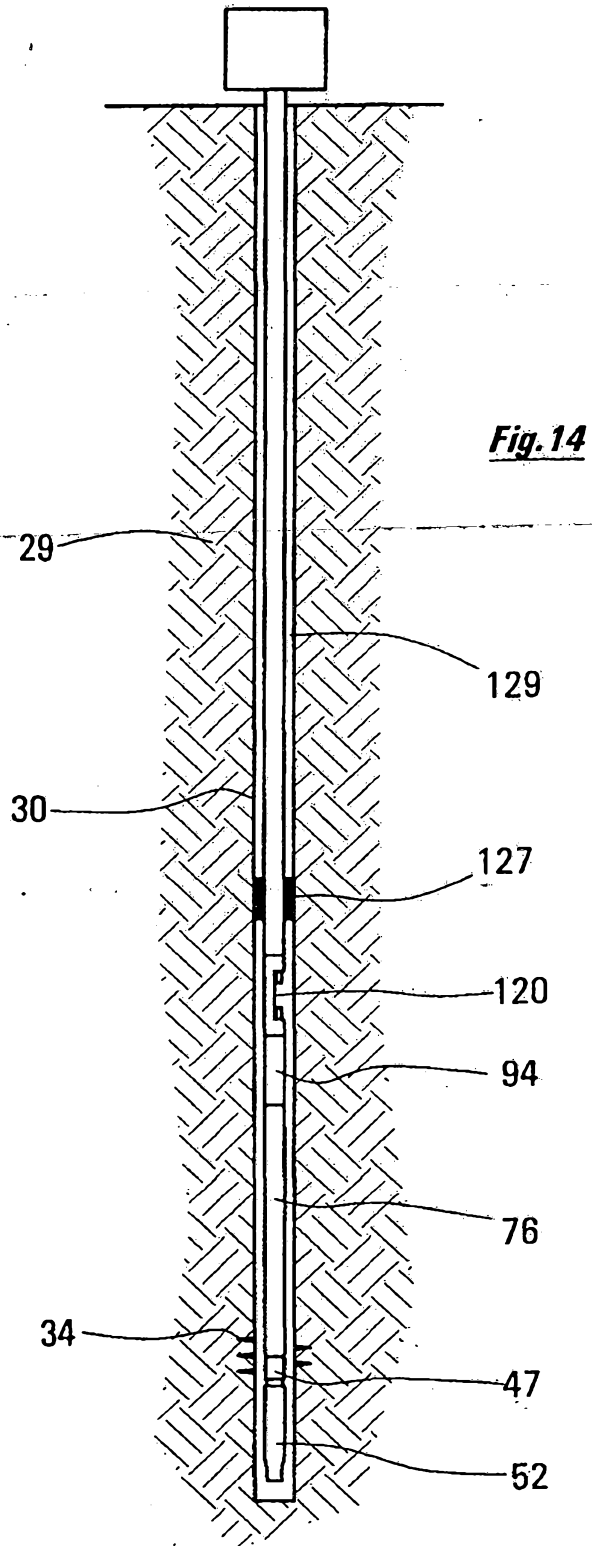


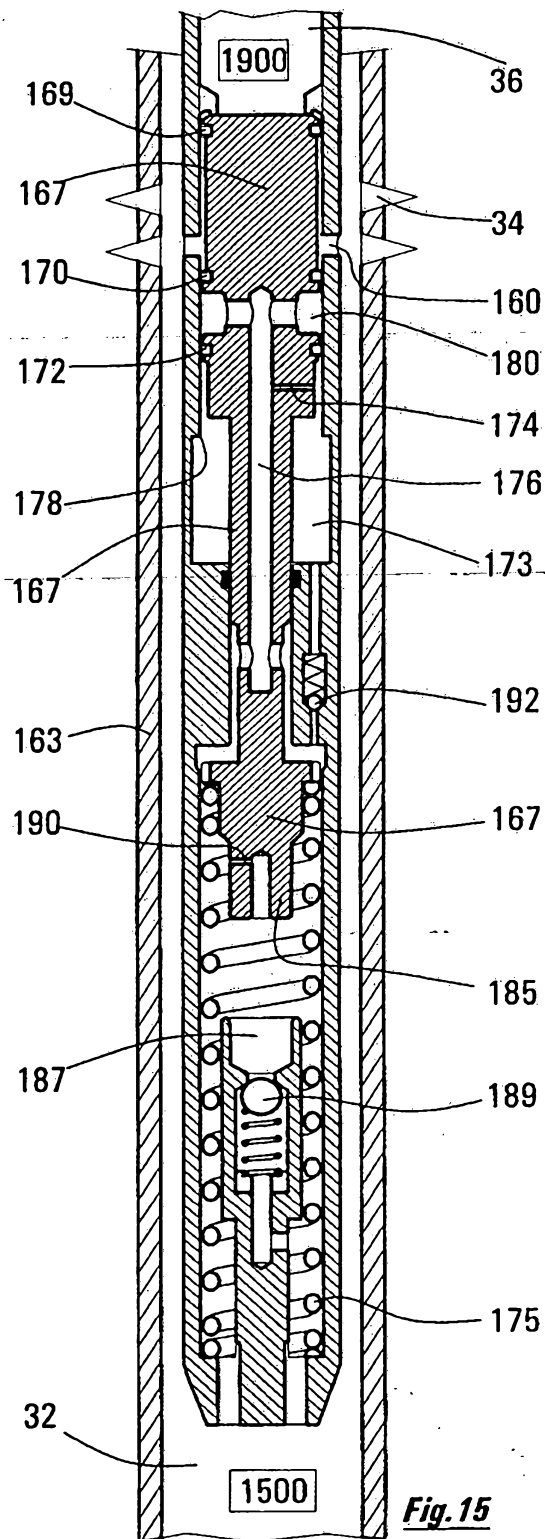
FIGURA 15**Fig. 15**

FIGURA 16

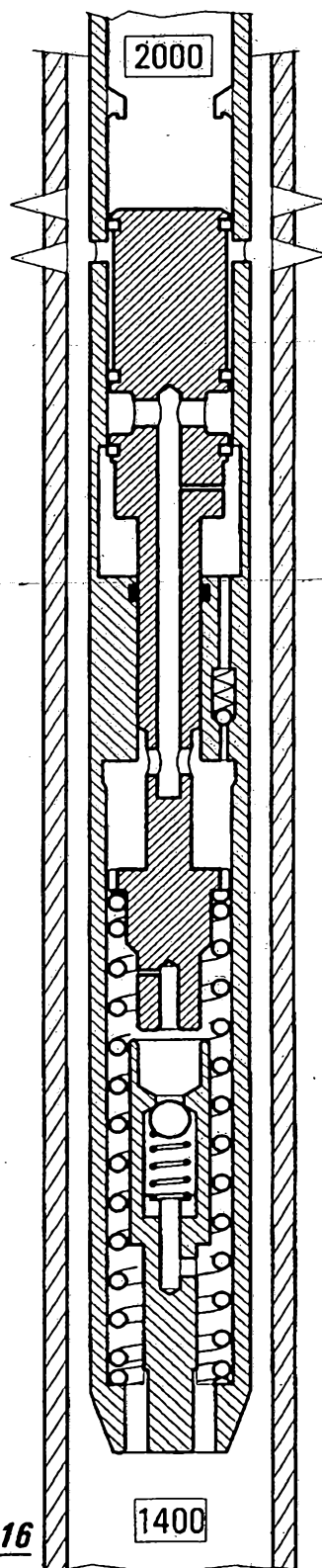


FIGURA 17

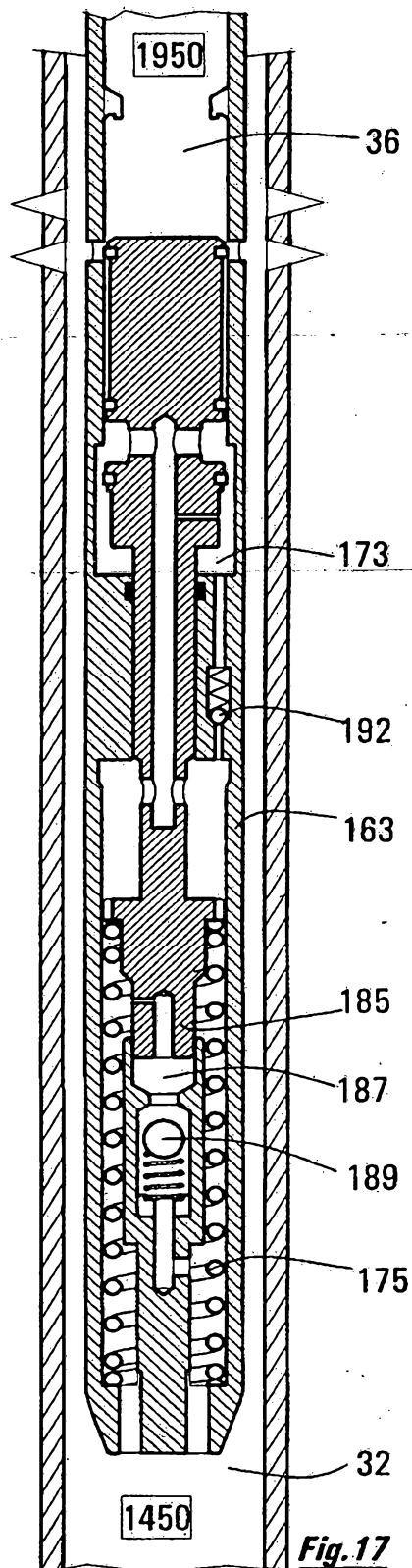


Fig.17

FIGURA 18

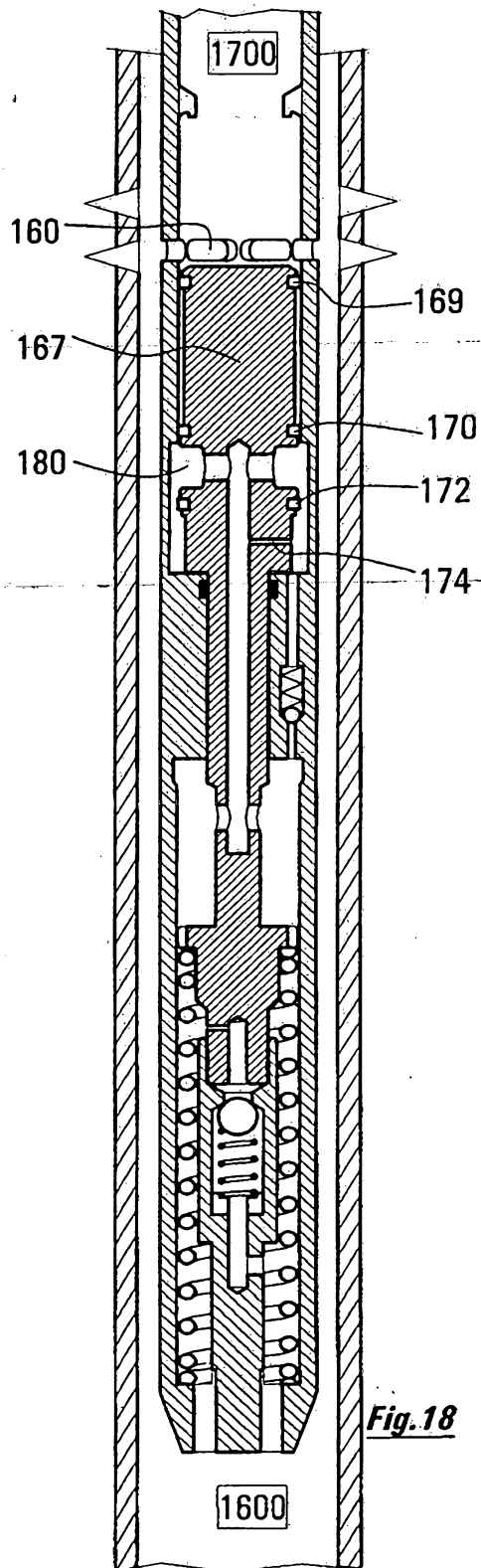


FIGURA 19

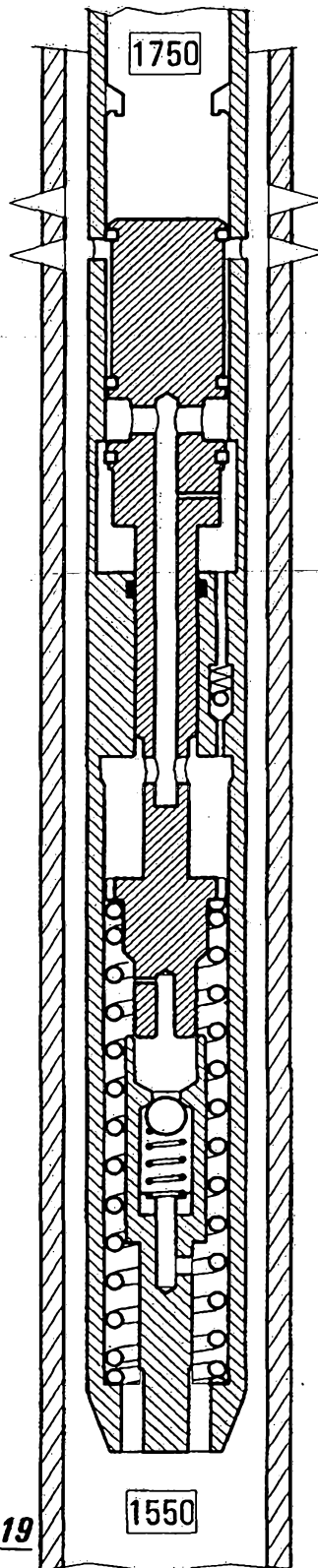


Fig. 19