



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

(21) BR 102020027057-5 A2



(22) Data do Depósito: 30/12/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 12/07/2022

(54) **Título:** SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS COM RESERVATÓRIO FLEXÍVEL E COM MOTOBOMBA PARA POTÊNCIA HIDRÁULICA

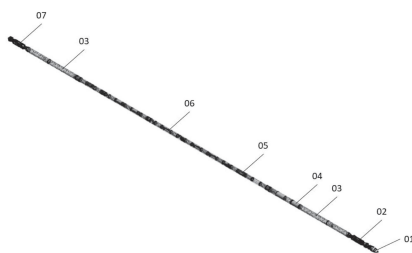
(51) **Int. Cl.:** B08B 9/051; F16L 55/32.

(52) **CPC:** B08B 9/051; F16L 55/32.

(71) **Depositante(es):** PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS.

(72) **Inventor(es):** HUGO FRANCISCO LISBOA SANTOS; RAFAEL ANTÔNIO COMPARSI LARANJA; HENRIQUE THEISSEN MENDEL; EDUARDO ANDRÉ PERONDI; TIAGO BECKER; NEY ROBINSON SALVI DOS REIS.

(57) **Resumo:** SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS COM RESERVATÓRIO FLEXÍVEL E COM MOTOBOMBA PARA POTÊNCIA HIDRÁULICA. A presente invenção provê um sistema de tracionamento consistindo essencialmente de dois conjuntos de patas (11) e um cilindro hidráulico (15). Cada conjunto é posicionado de um dos lados do cilindro hidráulico (15). Os dois conjuntos de patas (11) possuem um mecanismo de autotravamento. O mecanismo de autotravamento permite que cada conjunto de patas atue preferencialmente para um lado e exerça forças de grande magnitude. A invenção provê ainda um reservatório flexível (21) capaz de equalizar as pressões interna e externa do meio, permitindo o funcionamento de um sistema hidráulico em um ambiente que esteja submetido a qualquer valor de pressão, desde que esteja dentro da faixa de operação dos componentes. Além disso, o fato de permanecer em um circuito fechado garante que não ocorra contaminação de nenhum fluido.



**“SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS COM
RESERVATÓRIO FLEXÍVEL E COM MOTOBOMBA PARA POTÊNCIA
HIDRÁULICA”**

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção se insere no campo das atividades de IMR-Inspeção Manutenção e Reparo em malha de dutos, tais como: localização, limpeza e remoção de incrustações e obstruções, inspeção e monitoramento de superfície interna, corte de linhas, instalação de equipamentos, desamassamento e recomposição dimensional de dutos, entre outras necessidades de linhas de produção de petróleo ou quaisquer atividades que utilizem dutos como modal de transporte.

[0002] A invenção propõe a utilização de uma ferramenta conectada a um dispositivo de locomoção, como um cabo umbilical conectado a um robô. Tal ferramenta realizará a remoção das obstruções, entre outras operações internas aos dutos. Uma das realizações da presente invenção consiste no desenvolvimento de um dispositivo de tracionamento do robô, o que permite que este equipamento se desloque em grandes distâncias por meios próprios, sem necessitar que haja fluxo no interior dos dutos, como é o caso dos atuais sistemas baseados em *pigs*. O sistema de tracionamento consiste essencialmente em dois conjuntos de patas e um cilindro hidráulico. Para viabilizar a atuação do cilindro, nesta invenção foi projetado um reservatório dotado de um corpo de material elastomérico. O reservatório proposto permite o funcionamento do sistema hidráulico em ambiente de qualquer pressão dentro da faixa de operação dos componentes, uma vez que as pressões, tanto interna, quanto externa, permanecem equalizadas. Além disso, o fato de permanecer em um circuito fechado garante que não ocorra contaminação de nenhum fluido.

Descrição do Estado da Técnica

[0003] A produção de petróleo a partir de poços marítimos quase sempre envolve a perfuração de poços e sua interligação a Unidades Estacionárias de Produção, as UEPs. Essa interligação é feita através de dutos rígidos ou de

dutos flexíveis. Adicionalmente, tais unidades podem ser interligadas a outras unidades ou a estações de terra, também através de dutos rígidos ou flexíveis.

[0004] Os dutos podem, eventualmente, sofrer restrições ou bloqueios, que podem ser causados, por exemplo, por hidratos ou parafinas. Em algumas situações, é possível desobstruir a linha utilizando dispositivos conhecidos como Flexitubos (*Coiled Tubing*), que são tubos flexíveis de aço enrolados em forma de bobina, os quais são empurrados para o interior da linha analogamente ao uso de um cateter para uso médico/clínico, e servem para levar até o local de interesse vários tipos de fluidos e produtos químicos para serem usados na desobstrução. Contudo, por conta dos altos valores de coeficiente de fricção - atritos encontrados entre o equipamento e as paredes dos dutos, tais equipamentos não conseguem se deslocar de forma eficiente em grandes distâncias no interior do duto, em dutos com geometria complexa, ou em sentido ascendente. Além disso, muitas plataformas não possuem capacidade para operá-los devido ao peso.

[0005] Atualmente, a solução comumente adotada é tentar desobstruir essas linhas a partir da UEP. Para isso, são utilizadas diferentes técnicas, como depressurização e injeção de solventes. Tais técnicas podem ser utilizadas a partir da UEP, de uma sonda, ou de outra instalação conectada à linha. No caso de obstruções por hidrato, pode-se inserir um flexitubo a partir da UEP. Isso é possível nos casos em que o *riser* possui configuração em catenária livre e quando a obstrução por hidrato está próxima do trecho vertical. Não é aplicável em *risers* com configuração *lazy wave*, *lazy-S* ou equivalentes. Também não é aplicável nas situações em que o hidrato se formou longe do trecho vertical, o que corresponde a grande parte dos casos.

[0006] Nos casos em que é aplicável, o flexitubo pode ser descido a partir da UEP, realizando uma depressurização da linha, a fim de promover a quebra do hidrato. Além das limitações de configuração e distância, a depressurização é uma técnica que apresenta riscos consideráveis. Tais riscos estão associados ao grande diferencial de pressão existente entre as extremidades do hidrato. O

diferencial de pressão faz com que o hidrato se desloque em grande velocidade na direção da UEP, podendo causar danos em sua chegada.

[0007] Nos casos em que o flexitubo não pode ser descido a partir da UEP, é utilizada uma solução diferente. Uma sonda acessa o poço e, a partir desse acesso, é descido um flexitubo. Esse flexitubo realiza, então, a despressurização da linha e a consequente quebra do hidrato. Contudo, tal solução usualmente demora meses e tem custo extremamente elevado.

[0008] Nas obstruções por parafina, a abordagem comum é utilizar a técnica baseada em equipamentos denominados *PIG (Pipeline Intervention Gadget)* de limpeza antes de a parafina obstruir totalmente uma região do duto. Eventualmente, ocorre a prisão do PIG durante essa operação. Nos casos em que ocorre o aprisionamento do PIG ou mesmo uma obstrução severa/total por parafina ou qualquer outra razão, não há, ainda uma solução desenvolvida que tenha sido disponibilizada comercialmente. Isso porque tais equipamentos necessitam obrigatoriamente que haja um diferencial de pressão no interior do duto para que possam ser movimentados, e tal condição ocorre se houver algum fluxo no interior do duto. Nesses casos, a conhecida e tradicional técnica de “pigagem” esbarra em limites intransponíveis. Nessas situações, podem ser testadas soluções experimentais, ou então é realizada a troca de toda a linha flexível, ou o içamento e reparo quando se tratar de uma linha rígida. Essas são duas operações de custo extremamente elevado.

[0009] Assim, de um modo geral, as técnicas disponíveis são demoradas e possuem alto custo. Além disso, desde o bloqueio do duto até a completa remoção da obstrução, há lucro cessante associado à interrupção da produção do poço.

[0010] Ao ocorrer situação similar em uma das instalações da Petrobras, a busca de solução e respostas a essa situação deu início aos estudos que se encontram mais bem descritos nas Patentes US 6415722 e PI 9904364. A partir de então, deu-se continuidade em pesquisas e desenvolvimentos que, por conta de seu ineditismo chegaram à materialização de protótipos cabeças de série que

serviram para demonstrar conceitos inovadores e que deram base para a atual patente, conforme será descrito adiante. Os primeiros desenvolvimentos foram registrados nas patentes PI9904364-5, PI0603022-0, PI0405971-9 A.

[0011] A presente invenção propõe a utilização de uma ferramenta, conectada a um dispositivo de locomoção; por exemplo, um robô, com um cabo umbilical, a exemplo dos conceitos e propostas descritos nas Patentes US 6415722 e PI 9904364-5, acrescidas de suas melhorias e aprimoramentos, posteriormente descritos nas Patentes US 6672222 e PI 00029157. Para grandes distâncias, como em aplicações típicas em campos do Pré-Sal, o contato da parte externa do cabo umbilical com a superfície interna dos dutos ocasiona uma força de atrito com amplitude significativa que dificulta a movimentação do robô. O objetivo do conjunto é o de levar a ferramenta até a proximidade da obstrução. Tal ferramenta irá realizar a remoção das obstruções ou outras operações.

[0012] Um dos objetivos da presente invenção consiste no dispositivo de tracionamento do robô. Esse sistema, em conjunto com um sistema desenvolvido para minimização das forças de atrito, segundo revelado em BR 10 2018 072062-7, PCT/BR2019/050461, permite que o robô se desloque em grandes distâncias.

[0013] O sistema peristáltico de movimentação funciona da seguinte forma: 1) com o cilindro estendido, o conjunto de patas anterior ancora na parede, 2) o cilindro é contraído, trazendo consigo o conjunto de patas posterior e o restante do robô, 3) o conjunto de patas posterior ancora na parede e 4) o cilindro é estendido novamente. Os ciclos se repetem a cada movimento do conjunto. Ao concluir o item 4, retorna ao 1.

O sistema de tracionamento compreende essencialmente dois conjuntos de patas e um cilindro hidráulico. O mecanismo de autotravamento permite que o robô exerça forças de elevada magnitude devido ao ângulo das patas. Esse ângulo, normalmente bastante aberto, faz com que as forças exercidas ao tracionar o robô e o umbilical pressionem fortemente as patas contra a parede.

Com isso, a força de atrito gerada possui grande magnitude e permite que o robô exerça forças elevadas. Essas forças são responsáveis pela movimentação de todo o conjunto ao longo dos dutos, arrastando consigo o umbilical.

[0014] Cada conjunto de patas é posicionado de um dos lados do cilindro hidráulico. Os dois conjuntos possuem um mecanismo de autotravamento. O mecanismo de autotravamento permite que cada conjunto de patas atue preferencialmente para um lado e exerça forças de grande magnitude. Para permitir a transferência de energia por grandes distâncias, é utilizado um umbilical para transferência elétrica de energia, desde o local de lançamento (plataforma) até o robô propriamente dito. Essa energia é convertida em potência hidráulica através de conjuntos motobomba.

[0015] O dispositivo de tracionamento é utilizado para proporcionar o deslocamento de ferramentas, robóticas ou não, no interior de tubulações. Tais ferramentas podem ser utilizadas para remoção de obstruções, como hidratos ou parafinas. Podem ser utilizadas também para realização de operações de inspeção, corte de linhas, instalação de equipamentos, desamassamento de dutos etc. Adicionalmente, a curva das patas, desenhada especificamente para esse fim, permite que o robô mantenha o ângulo das patas aproximadamente constante, mesmo com pequenas variações no diâmetro do duto.

[0016] Ambientes com baixa ou alta pressão muitas vezes possuem fluidos ou gases que impedem a utilização de um reservatório hidráulico aberto, uma vez que o contato direto com o ambiente externo (atmosfera local) ocasiona a contaminação do fluido de trabalho. Uma solução para tal aplicação é a utilização de um reservatório fechado, de forma que não exista contato direto do fluido de trabalho com o ambiente externo. Tal solução traz alguns desafios, como a equalização das pressões interna e externa do reservatório (principalmente em aplicações nas quais podem ocorrer grandes variações nas pressões externas, como em sistemas que devem submergir a grandes profundidades), aliada à compensação que deve haver com a variação do volume de fluido de trabalho presente no interior do reservatório. Essa variação existe devido ao acionamento

de atuadores que, conforme a sua posição, requerem uma quantidade maior ou menor de fluido para o seu funcionamento.

[0017] As soluções tradicionais passam pelo uso de um atuador hidráulico de haste passante, o que é inviável para as aplicações da presente invenção, por conta das restrições do volume disponível, ou pelo uso de acumuladores comerciais, o que também tem um impeditivo associado às limitações de espaço.

[0018] O reservatório objeto desta invenção foi projetado com um corpo de material elastomérico (borracha sintética), o qual possui a elasticidade necessária para se deformar conforme o volume de fluido na parte interna do reservatório varia. Também, devido à sua flexibilidade, o reservatório aqui revelado permite a equalização entre as pressões interna e externa.

[0019] O reservatório desta invenção pode ser usado em ambientes de baixa e alta pressão, uma vez que existe a equalização da pressão interna com a externa, e em situações em que não deve haver contato direto entre os fluidos do ambiente interno de trabalho com o ambiente externo. Por compensar a diferença de pressão, o sistema desenvolvido pode ser usado em situações em que a pressão ambiente é alta, relativamente à pressão diferencial de trabalho.

[0020] O documento GB2301414A revela um veículo que pode realizar operações dentro de um tubo. Tal veículo possui um trem de módulos interligados por unidades de suspensão. O primeiro módulo do trem é o módulo de tração que inclui um motor dentro de um dos braços e termina em rodas, que possibilitam o movimento do veículo. O trabalho também revela um equipamento capaz de tracionar ferramentas, sendo seu contato com a parede interna do tubo feito com rodas. Particularmente, as rodas do sistema apresentado em GB2301414A não permitem a realização de forças de elevada magnitude em tubulações com diâmetros pequenos e raios de curvaturas elevados. Por ter um sistema peristáltico com autotravamento, a invenção é capaz de realizar tal feito.

[0021] O documento US20150337630A1 revela um equipamento para executar a limpeza de tubulações, o qual possui um módulo gerador de ondas de choque e um módulo de tração. O equipamento possui módulos de turbinas

que utilizam o escoamento do fluido na tubulação para produzir energia para o módulo de tração. O módulo de tração possui motores que atuam em rodas projetadas para se adaptarem às variações de dimensão da tubulação. Difere da presente invenção por fazer o contato com a superfície da parede interna do duto através de rodas e não de patas. Em comparação à presente invenção, as rodas do sistema apresentado em US20150337630A1 não permitem a realização de forças de elevada magnitude em tubulações com diâmetros pequenos e raios de curvaturas elevados. Por ser dotada de um sistema peristáltico com autotravamento, a invenção é capaz de realizar tal feito.

[0022] Adicionalmente, US20150337630A1 não revela um conjunto eletro-hidráulico para acionar o sistema de tração, um reservatório com revestimento flexível para compensar as variações da pressão ambiente, pistões hidráulicos com circuitos hidráulicos regenerativos, e sistema de falha segura, com depressurização do sistema e fechamento das patas por mola, como a presente invenção.

[0023] O documento KR20160023960A revela um equipamento para limpeza de tubulações que compreende uma pluralidade de módulos, meios de ligação entre os módulos, e um trecho de sucção para a retirada de corpos estranhos à tubulação. Neste equipamento, o módulo de tração possui lagartas que realizam o contato do equipamento com a parede interna do duto e são projetadas para se ajustar às variações de diâmetro da tubulação. Entretanto, as lagartas do sistema apresentado em KR20160023960A não permitem a realização de forças de elevada magnitude em tubulações com diâmetros pequenos e raios de curvaturas elevados. Isso é possível no sistema da presente invenção, por ser dotado de um sistema peristáltico com autotravamento.

[0024] Adicionalmente, o sistema descrito em KR20160023960A não dispõe de um conjunto eletro-hidráulico para acionar o sistema de tração, um reservatório com revestimento flexível para compensar as variações da pressão ambiente, pistões hidráulicos com circuitos hidráulicos regenerativos, e sistema

de falha segura, com despressurização do sistema e fechamento das patas por mola, como na presente invenção.

Objetivo da invenção

[0025] O objetivo da presente invenção constitui um sistema dotado de um dispositivo de tracionamento no interior de dutos e de um sistema hidráulico capaz de operar em ambientes de qualquer pressão dentro da faixa de operação dos componentes.

Descrição Resumida da Invenção

[0026] De forma a alcançar os objetivos acima descritos, o sistema da presente invenção é dotado de um dispositivo de tracionamento, o qual consiste essencialmente de dois conjuntos de patas e um cilindro hidráulico. Cada conjunto é posicionado de um dos lados do cilindro hidráulico. Os dois conjuntos possuem um mecanismo de autotravamento. O mecanismo de autotravamento permite que cada conjunto de patas atue preferencialmente para um lado e exerça forças de grande magnitude.

[0027] O sistema possui ainda um reservatório capaz de equalizar as pressões interna e externa do meio, podendo ainda ser aplicado em situações em que não deve haver contato direto entre o fluido do ambiente interno de trabalho com o do ambiente externo, permitindo o funcionamento de um sistema hidráulico em um ambiente que esteja submetido a qualquer valor de pressão, desde que dentro da faixa de operação dos componentes.

Breve Descrição dos Desenhos

[0028] A presente invenção será descrita com mais detalhes a seguir, com referência às figuras em anexo que, de uma forma esquemática e não limitativa do escopo inventivo, representam exemplos de realização dela. Nos desenhos, têm-se:

- A Figura 1 ilustra uma visão geral do sistema de tracionamento desta invenção;
- A Figura 2 ilustra o módulo de tração à frente;
- A Figura 3 ilustra o módulo de tração à ré;

- A Figura 4a ilustra a curva da pata, construída unindo vários pontos através de uma *spline*. Na Figura 4b está representado o exemplo de um procedimento de desenho para uma pata de 4° em um tubo de 4 polegadas, onde (a) representa o ângulo de contato de 4° em relação à superfície interna da tubulação.
- A Figura 5 ilustra em detalhe um módulo de motobombas;
- A Figura 6 ilustra em detalhe o módulo de *manifolds*;
- A Figura 7 ilustra o reservatório com corpo flexível, desenvolvido nesta invenção;
- As Figuras 8a e 8b ilustram o conceito de reservatório com corpo flexível desenvolvido nesta invenção. A Figura 8a ilustra o cilindro avançado e a Figura 8b ilustra o cilindro recuado;
- A Figura 9 apresenta uma configuração preferencial para o circuito hidráulico de controle do cilindro principal de avanço e do cilindro principal de recuo.
- A Figura 10 apresenta uma configuração preferencial para o circuito hidráulico de controle dos cilindros auxiliares do sistema de avanço e do sistema de recuo.

Descrição Detalhada da Invenção

[0029] Abaixo segue descrição detalhada de uma concretização preferida da presente invenção, de cunho exemplificativo e de forma nenhuma limitativo. Não obstante, ficará claro para um técnico no assunto, a partir da leitura desta descrição, possíveis concretizações adicionais da presente invenção ainda compreendidas pelas características essenciais e opcionais abaixo.

[0030] A presente invenção propõe a utilização de uma ferramenta conectada a um dispositivo de locomoção, como por exemplo um cabo umbilical conectado a um robô, para a execução de operações no interior de dutos, tais como remoção de obstruções, como hidratos ou parafinas, inspeção, corte de linhas, instalação de equipamentos, desamassamento, etc.

[0031] Para grandes distâncias, o contato da parte externa do cabo umbilical com a superfície interna dos dutos ocasiona uma força de atrito com amplitude significativa e que dificulta a movimentação do robô.

[0032] Um dos objetivos desta invenção consiste em um sistema de tracionamento desse do robô. Esse sistema dispositivo, em conjunto com um sistema desenvolvido para minimização das forças de atrito, permite que o robô se desloque em grandes distâncias. O dispositivo de tracionamento consiste essencialmente em dois conjuntos de patas e um cilindro hidráulico. Cada conjunto é posicionado de um dos lados do cilindro hidráulico. Os dois conjuntos possuem um mecanismo de autotravamento.

[0033] O mecanismo de autotravamento permite que cada conjunto de patas atue preferencialmente para um lado e exerça forças de grande magnitude. Inicialmente, um dos conjuntos de patas é deslocado para frente pelo cilindro hidráulico. Esse conjunto de patas se fixa na tubulação e o cilindro é retraído. Isso traz o outro conjunto de patas para frente, bem como o restante do robô e o umbilical. O conjunto de patas é projetado de tal maneira que o autotravamento ocorra de forma similar para uma faixa de diâmetros do duto. Para isso, utiliza uma curvatura própria que permite que o robô mantenha aproximadamente o mesmo ângulo de autotravamento.

[0034] A Figura 1 apresenta uma visão geral do sistema de tracionamento desta invenção. Esse dispositivo é constituído de um acoplamento com a ferramenta propriamente dita (01), responsável por realizar as operações no interior dos dutos. Possui ainda um módulo de tração à frente (02), responsável por deslocar o robô à frente, arrastando o cabo umbilical. Também é dotado de um módulo de enrolamento (03) para compensar o deslocamento do cilindro hidráulico. Pode conter uma ferramenta auxiliar (04) para a realização de outras atividades. Para o acionamento do cilindro hidráulico, há um ou mais conjuntos motobomba (05), responsáveis por receber energia elétrica e transformá-la em potência hidráulica. Adicionalmente, um ou mais *manifolds* (06) realizam o direcionamento do fluido hidráulico para um dos lados do cilindro principal, ou

para o cilindro auxiliar. Ainda, em (07) está representado o módulo de tração à ré.

[0035] A Figura 2 representa o módulo de tração à frente, e a Figura 3, o módulo de tração à ré.

[0036] As patas do robô (11) realizam o contato com a parte interna da tubulação e realizam a tração. Essas patas foram projetadas de modo a permitirem um autotravamento. Além disso, também foram projetadas de modo a manter constante o ângulo relativo à superfície interna da tubulação, dentro de uma faixa de diâmetros do duto. Para tal, possui uma geometria própria na sua superfície de contato, conforme mostrado nas Figuras 4a e 4b.

[0037] De acordo com a Figura 4a, a curva da pata foi construída unindo vários pontos através de uma *spline*. A fim de ilustrar o método, como exemplo não limitativo, está representado o procedimento de desenho para uma pata de 4° em um tubo de 4 polegadas. Os pontos são obtidos através de retas, conforme mostra a Figura 4a. Para cada diâmetro do duto (de 100,5 até 104 mm), é calculada a distância do centro do eixo da pata até o ponto de contato em um ângulo constante de 4°, que é fixo em 18,50 mm. O valor de 18,50 mm representa a distância do centro do robô até o centro do eixo da pata. Então, com esses valores são construídas linhas com um ângulo entre elas de 6° (determinado por meio de iterações e ajustes). As extremidades das linhas (pontos) são ligadas através de uma *spline*, conforme mostra a Figura 4a. Assim, a cada 6° que a pata gira em relação ao seu eixo, ela avança 0,5 mm radialmente. Dessa forma, como é possível observar na Figura 4b, o ângulo é mantido constante em 4° para o intervalo utilizado (100,5 a 104 mm). As outras dimensões e geometrias são projetadas de modo a atender a outros requisitos do projeto.

[0038] Alternativamente, a curva pode ser obtida numericamente, por exemplo, através da integração numérica da equação $\frac{dy}{dx} = \frac{1 + \frac{y}{x} \cdot \tan \beta}{\frac{y}{x} - \tan \beta}$, onde x e y são os valores nos eixos cartesianos e β é o ângulo de contato desejado.

[0039] É importante destacar que para projetar a pata vários outros aspectos tiveram que ser analisados. Como ela é uma peça que trabalha em associação com outras, não pode ser considerada apenas a sua curvatura. O correto funcionamento depende de vários fatores. O exemplo dado aqui foi para a pata de 4°, mas é importante destacar que para cada ângulo (4°, 7,5°, 10°...), existe a necessidade de uma análise detalhada diferente.

[0040] Conforme mostrado nas Figuras 2 e 3, alguns pequenos cilindros (12) realizam a abertura das patas. Acoplamentos flexíveis (13) conectam os conjuntos de pata entre si, à ferramenta, ao cilindro, ou a outras partes do robô. Conectores (14) permitem que o fluido hidráulico se desloque dos *manifolds* para os cilindros. O cilindro hidráulico principal (15) é responsável pelo deslocamento à frente ou à ré. Algumas guias (16) mantêm o cilindro em seu curso. Por fim, protetores de cabo (17) preservam as mangueiras hidráulicas.

[0041] A Figura 5 apresenta em detalhe um módulo de motobombas e a Figura 6 apresenta em detalhe o módulo de *manifolds*. O reservatório com corpo flexível (21) é responsável por manter o óleo hidráulico separado do meio e por equilibrar a pressão do reservatório com a pressão do meio. O motor elétrico (22) é responsável por mover a bomba hidráulica (23). Adicionalmente, um tensionador (24), possivelmente em formato de mola helicoidal, é responsável por manter o reservatório (21) tensionado. Uma válvula de retenção (25) permite que as válvulas operem de forma independente e a estrutura (26) é responsável por suportar o conjunto. Finalmente, o *manifold* com as válvulas (27) é responsável pelo direcionamento do fluido hidráulico para um dos lados do pistão principal do cilindro, ou para os pistões auxiliares.

[0042] Para permitir a transferência de energia por grandes distâncias é utilizada uma transferência elétrica de energia, desde o local de lançamento (plataforma) até o robô propriamente dito. Essa energia é convertida em potência hidráulica através de conjuntos motobomba (05). O fluido hidráulico passa então por *manifolds* (06) e atua os denominados cilindros de deslocamento e os cilindros para abertura das patas. O circuito hidráulico utilizado para atuação do

cilindro pode ser um circuito regenerativo, o que permite maior velocidade de avanço para o cilindro.

[0043] Há a possibilidade dos *manifolds* serem responsáveis por controlar o sistema, ou o sistema de motor e bomba serem instalados na parte interna ou externa de um reservatório, sem prejuízos ao seu funcionamento, desde que o sistema permaneça estanque, com retorno do fluido hidráulico para dentro do reservatório.

[0044] Para viabilizar a atuação do cilindro, o reservatório foi projetado com um corpo de material elastomérico (borracha sintética), conforme mostrado na Figura 7, o qual possui a elasticidade necessária para se deformar conforme o volume de fluido na parte interna do reservatório varia. Também, devido à sua flexibilidade, o reservatório permite a equalização entre as pressões interna e externa. Nas suas extremidades, foram previstas conexões hidráulicas de entrada e saída, de forma que seja possível ligá-lo a atuadores através de mangueiras. Na Figura 7 estão representados: o reservatório com corpo flexível (21), a bomba hidráulica (23), e extremidades com conexões para entrada e saída do fluido de trabalho (28).

[0045] O conceito de reservatório com corpo flexível está representado nas Figuras 8a e 8b. Devido ao fato de o reservatório possuir um corpo flexível, há uma equalização da pressão interna P_i com a pressão externa P_e , de modo que $P_i = P_e$. Isso faz com que a pressão que chega até a câmara do cilindro seja a P_e somada à pressão ΔP que a bomba precisa disponibilizar para o pistão realizar o movimento. A Figura 8a ilustra o cilindro avançado e a Figura 8b ilustra o cilindro recuado. Estão representados: motobomba (05), reservatório fechado/flexível (21), bomba hidráulica (23), câmara de avanço (29), cilindro (30), câmara de recuo (31), haste do cilindro (32), volume variável do reservatório (33).

[0046] Como consequência das câmaras do cilindro assimétrico (de haste não passante) possuírem volumes diferentes e de todo o fluido de trabalho permanecer em um sistema estanque, o volume do reservatório deve variar para

que não ocorra uma sobrepressão neste. Isso acontece porque a câmara de recuo apresenta uma haste passante no seu interior, o que não ocorre na câmara de avanço. Assim, quando o pistão recua, parte do fluido que antes estava na câmara de avanço (que possui maior volume útil) passa para o volume da câmara de avanço do cilindro, enquanto a outra parte (referente ao volume ocupado pela haste) passa para o interior do reservatório, de forma que há uma maior quantidade de fluido no seu interior. De forma geral, a operação de recuo do pistão do cilindro se torna possível devido ao efeito de flexibilidade do corpo do reservatório proposto na invenção. A variação de volume presente no reservatório também está representada nas Figuras 8a e 8b.

[0047] O reservatório apresentado nesta invenção pode ser usado em ambientes de baixa e alta pressão, uma vez que existe a equalização da pressão interna com a externa, e em situações em que não deve haver contato direto entre o fluido do ambiente interno de trabalho com o do ambiente externo. Por compensar a diferença de pressão, o sistema desenvolvido pode ser usado em situações nas quais a pressão ambiente é alta, relativamente à pressão diferencial de trabalho. Neste caso, o sistema motobomba soma sua pressão diferencial nominal em relação à pressão da atmosfera local externa, garantindo a operação adequada do atuador em termos de velocidade e força disponibilizadas.

[0048] A Figura 9 apresenta uma configuração preferencial para o circuito hidráulico de controle dos cilindros de avanço e de recuo. Esse circuito hidráulico utiliza um circuito regenerativo, a fim de aumentar a eficiência do deslocamento. Adicionalmente, possui um sistema de despressurização automática em caso de falha e um conjunto de duas ou mais motobombas para redundância.

[0049] A Figura 10 apresenta uma configuração preferencial para o circuito hidráulico de controle dos cilindros auxiliares, tanto do sistema de avanço quanto do sistema de recuo. Os cilindros auxiliares possuem retorno por mola e o sistema hidráulico é despressurizado automaticamente em caso de falta de energia ou de falha. Desse modo, em caso de falta de energia ou de falha, as

patas

são

automaticamente

recolhidas.

Reivindicações

- 1- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, caracterizado por compreender pelo menos um módulo de tração à frente (02), pelo menos um conjunto motobomba (05), pelo menos um *manifold* (06), pelo menos dois conjuntos de patas (11), pelo menos um cilindro auxiliar (12), pelo menos um cilindro hidráulico principal (15), pelo menos um umbilical, pelo menos um motor elétrico (22), pelo menos uma bomba hidráulica (23), e pelo menos uma estrutura de suporte (26).
- 2- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por possuir um reservatório flexível (21) para manter o óleo hidráulico separado do meio e por equilibrar a pressão do reservatório com a pressão do meio.
- 3- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por possuir uma ferramenta auxiliar (04) para realização de outras operações.
- 4- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo conjunto motobomba (05) acionar o cilindro hidráulico principal (15) e os cilindros auxiliares (12).
- 5- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo conjunto motobomba (05) receber energia elétrica pelo cabo umbilical e transformar em potência hidráulica.
- 6- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por possuir pelo menos um *manifold* (06) que direciona o fluido hidráulico para um dos lados do cilindro principal (15) ou para os cilindros auxiliares (12).
- 7- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por possuir um módulo de tração à frente (02) e um módulo de tração à ré (07).

- 8- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelos módulos de tração possuírem conjuntos de patas (11) que realizam o contato com a parte interna da tubulação.
- 9- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelos conjuntos de patas (11) possuírem autotravamento.
- 10- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelos conjuntos de patas (11) manterem um ângulo constante relativo à superfície interna da tubulação dentro de uma faixa de diâmetros de duto.
- 11- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelos conjuntos de patas (11) serem abertos pelos cilindros auxiliares (12).
- 12- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos acoplamentos flexíveis (13) conectarem os conjuntos de patas entre si, à ferramenta, ao cilindro, ou a outras partes do robô.
- 13- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos conectores (14) promoverem o deslocamento do fluido hidráulico dos *manifolds* (06) para o cilindro hidráulico principal (15) e para os cilindros auxiliares (12).
- 14- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo cilindro hidráulico principal (15) ser responsável pelo deslocamento do módulo de tração à frente (02) ou à ré (07).
- 15- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo cilindro hidráulico principal (15) ser mantido em seu curso por guias (16).
- 16- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelas mangueiras hidráulicas serem preservadas com protetores de cabo (17).

- 17- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo reservatório flexível (21) ser de material elastomérico.
- 18- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com quaisquer das reivindicações 2 ou 17, caracterizado pelo reservatório flexível (21) possuir nas extremidades conexões (d) para entrada e saída do fluido de trabalho.
- 19- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com quaisquer das reivindicações 2 ou 17, caracterizado pelo reservatório flexível (21) possuir em seu interior um ou mais *manifolds* (6), responsáveis pela atuação dos cilindros hidráulicos.
- 20- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com quaisquer das reivindicações 2 ou 17, caracterizado pelo conjunto motobomba ser instalado na parte interna do reservatório flexível (21), compensando a pressão ambiente.
- 21- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo motor elétrico (22) mover a bomba hidráulica (23).
- 22- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo tensionador (24) manter o reservatório flexível (21) tensionado.
- 23- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 22, caracterizado pelo tensionador (24) apresentar formato de mola helicoidal, mola prato ou feixe de molas.
- 24- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela válvula de retenção (25) permitir que as bombas hidráulicas (23) operem de forma independente.
- 25- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela estrutura (26) suportar as bombas (23) a válvula de retenção (25) e o conjunto de válvulas de controle (27).

26- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo *manifold* (06) com as válvulas de controle (27) direcionarem o fluido hidráulico para um dos lados do pistão principal, ou para os pistões auxiliares dos cilindros.

27- SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por possuir um módulo de enrolamento (03), responsável por compensar a movimentação das mangueiras conectas à parte móvel do pistão.

Figura 1

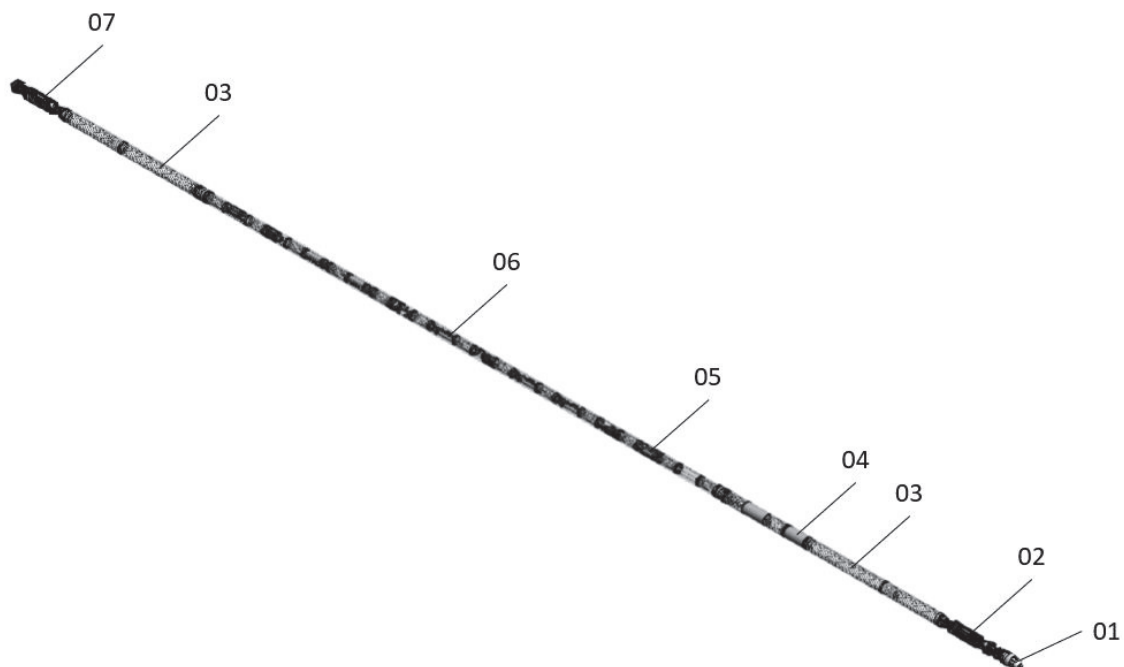


Figura 2

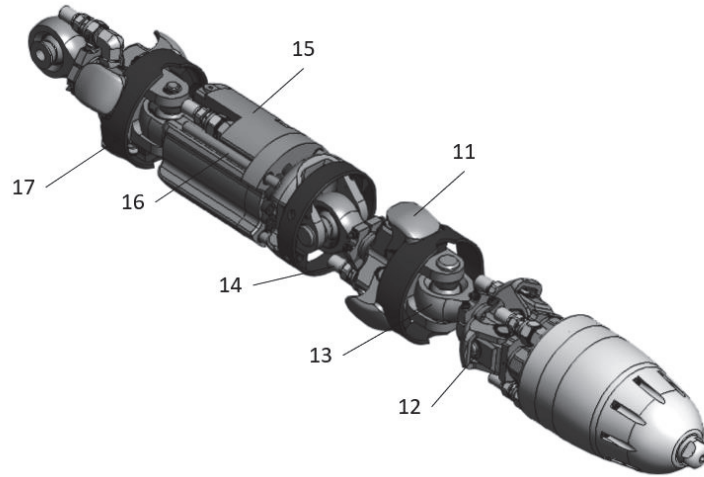


Figura 3

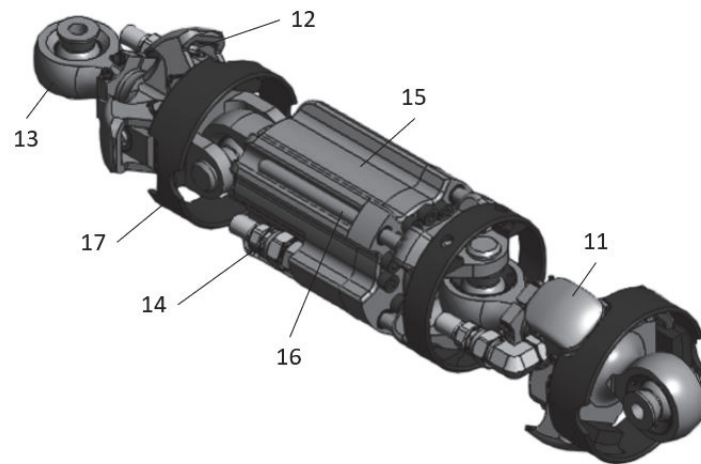


Figura 5

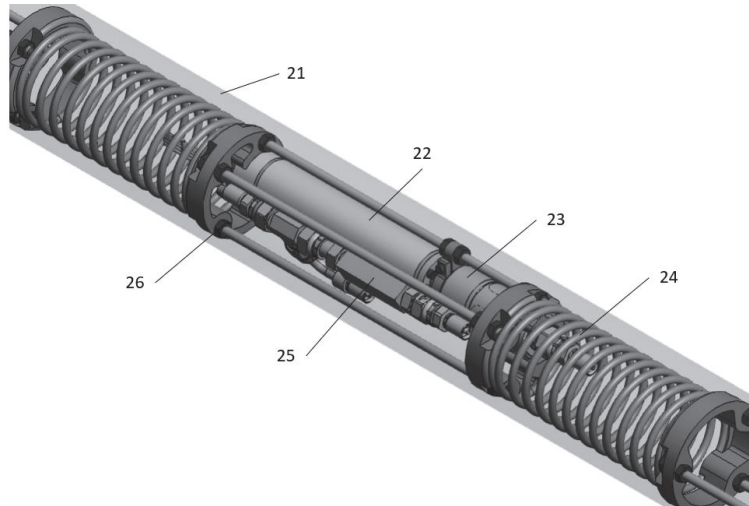


Figura 6

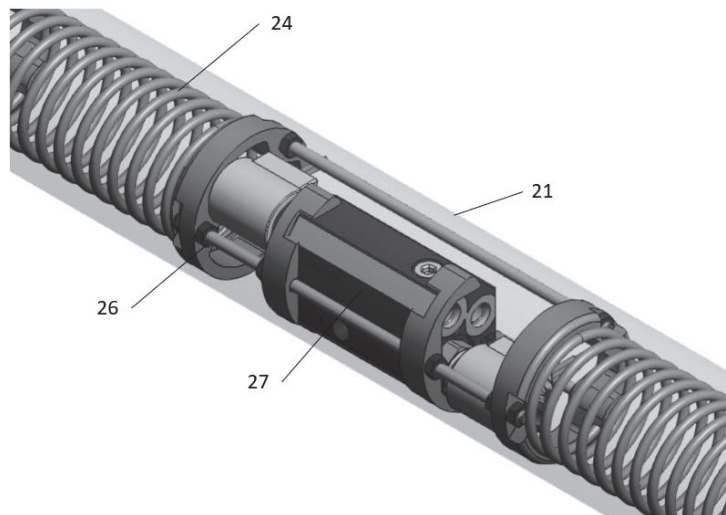


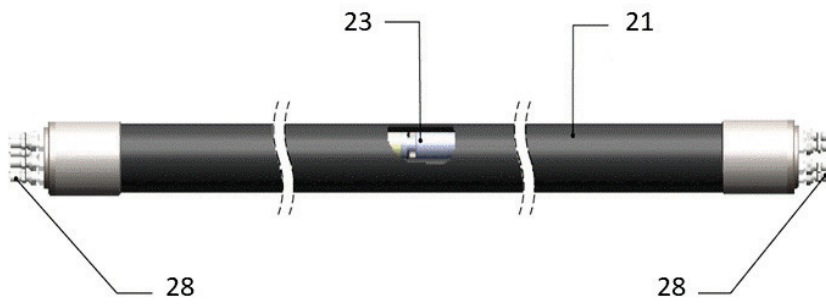
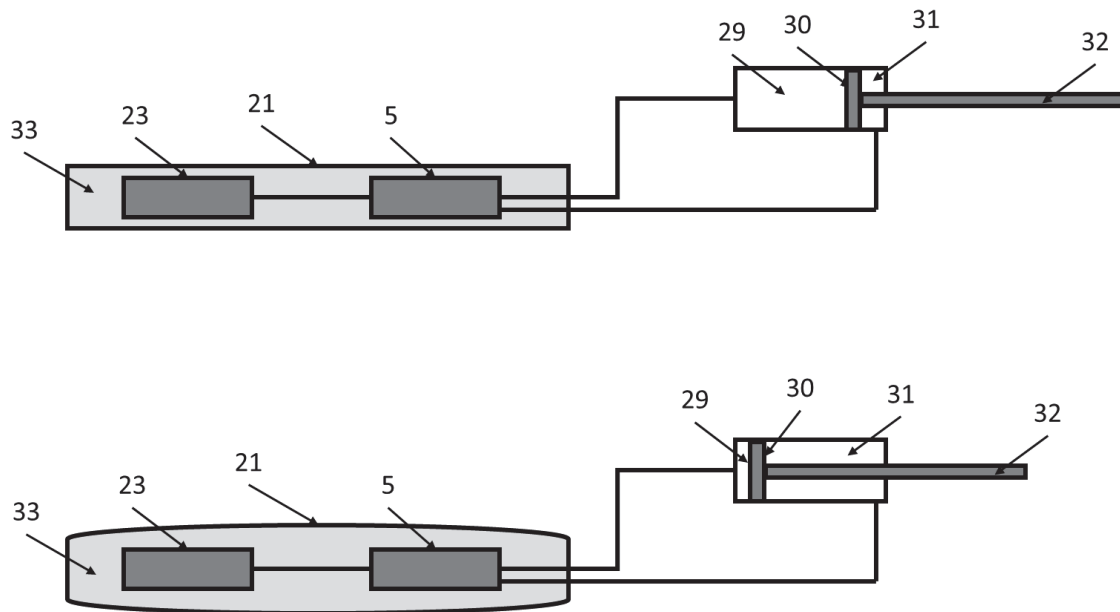
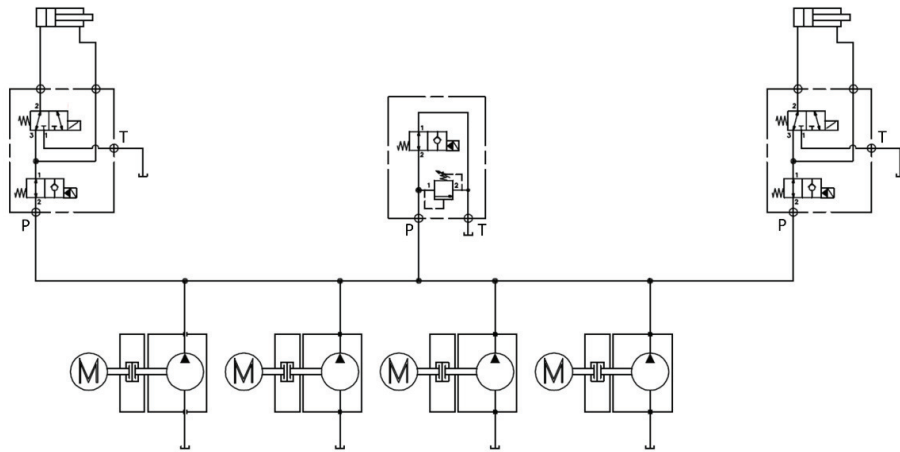
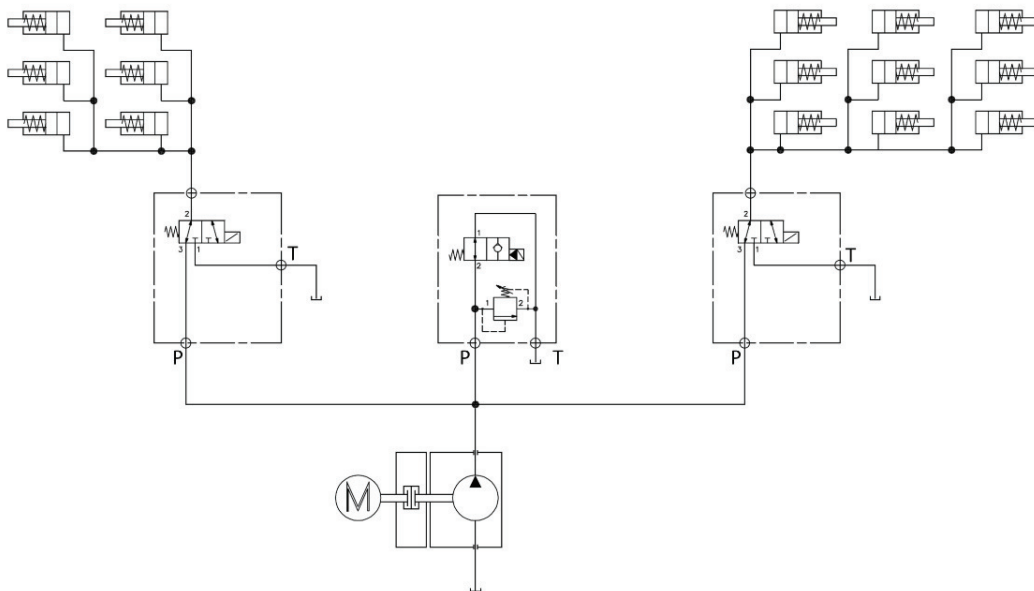
Figura 7**Figura 8**

Figura 9**Figura 10**

Resumo**“SISTEMA PARA TRACIONAMENTO NO INTERIOR DE DUTOS COM RESERVATÓRIO FLEXÍVEL E COM MOTOBOMBA PARA POTÊNCIA HIDRÁULICA”**

A presente invenção provê um sistema de tracionamento consistindo essencialmente de dois conjuntos de patas (11) e um cilindro hidráulico (15). Cada conjunto é posicionado de um dos lados do cilindro hidráulico (15). Os dois conjuntos de patas (11) possuem um mecanismo de autotravamento. O mecanismo de autotravamento permite que cada conjunto de patas atue preferencialmente para um lado e exerça forças de grande magnitude. A invenção provê ainda um reservatório flexível (21) capaz de equalizar as pressões interna e externa do meio, permitindo o funcionamento de um sistema hidráulico em um ambiente que esteja submetido a qualquer valor de pressão, desde que esteja dentro da faixa de operação dos componentes. Além disso, o fato de permanecer em um circuito fechado garante que não ocorra contaminação de nenhum fluido.