

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

(21) **PI0805633-1 A2**

(22) Data de Depósito: 29/12/2008
(43) Data da Publicação: 14/09/2010
(RPI 2071)



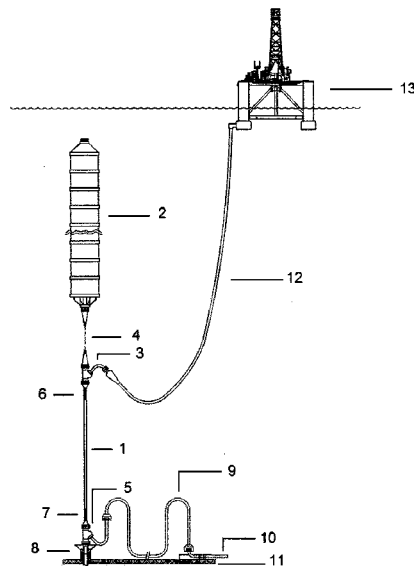
(51) *Int.Cl.:*
E21B 17/01
E21B 43/01

(54) Título: **SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇOADO E MÉTODO DE INSTALAÇÃO**

(73) Titular(es): Petroleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS

(72) Inventor(es): Francisco Edward Roveri, Jose Mauricio Teixeira da Gama Lima

(57) Resumo: SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇOADO E MÉTODO DE INSTALAÇÃO A presente invenção refere-se a um sistema de riser híbrido auto-sustentado (RHAS) aperfeiçoado com novas configurações de componentes nas interfaces das extremidades superior (3) e inferior (5) do trecho vertical do riser (1) em relação a configurações já instaladas pela indústria. Esta proposta de invenção descreve também um método de instalação para o RHAS proposto que permite utilizar embarcações de maior disponibilidade no mercado mundial e, desta forma, promover melhores ganhos técnico-operacionais.





SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇOADO E MÉTODO DE INSTALAÇÃO

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um sistema de riser híbrido auto-sustentado (**RHAS**) aperfeiçoado e seu método de instalação em que se propõem melhorias estruturais e funcionais de alguns componentes do sistema, em relação a algumas configurações já instaladas pela indústria. Propõe também, em função da resposta estrutural dinâmica do **RHAS**, um método de instalação que permite utilizar embarcações de maior disponibilidade no mercado mundial.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

O riser híbrido auto-sustentado (**RHAS**) é composto de um trecho vertical de aço tracionado por um tanque de flutuação em sua extremidade superior, cujo empuxo fornece estabilidade ao sistema. O tanque de flutuação situa-se a uma profundidade onde os efeitos da correnteza de superfície e das ondas estão significativamente atenuados. Um trecho de duto ou riser flexível em catenária dupla conecta a extremidade do trecho vertical à plataforma de produção. A ligação entre o tanque de flutuação e a extremidade superior do trecho vertical do riser é feita por um tirante ou por um trecho de amarra. Na extremidade inferior do riser situa-se a fundação do mesmo, que pode ser uma estaca de sucção ou um tubo de aço perfurado e cimentado no solo.

O **RHAS** pode ser utilizado em sistemas de produção (coleta) ou exportação de óleo ou gás. A passagem dos fluidos produzidos ou exportados é feita por uma linha única do riser, conhecido como "*riser monobore*", que também desempenha função estrutural de suporte do sistema. Em sua extremidade inferior, há um elemento que faz a ligação entre o trecho vertical e a linha de coleta ou exportação, que é um trecho de tubulação, situado na base do riser e constituído de aço, conhecido como *jumper* rígido.

A presente invenção propõe um sistema do **RHAS** aperfeiçoado, através de melhorias estruturais e funcionais de alguns componentes do sistema, em relação a algumas configurações já instaladas pela indústria e, em função da resposta estrutural dinâmica do **RHAS** proposto, um método de instalação que utiliza dois tipos de embarcações de maior disponibilidade no mercado oferecendo benefícios técnico-operacionais.

TÉCNICAS CORRELACIONADAS

Em sistemas marítimos de produção, o petróleo que é produzido nos poços localizados no fundo do oceano, é transportado até uma unidade de produção por meio de tubulações que podem ser rígidas, flexíveis, ou mesmo uma conjugação de ambas. Essas tubulações são conhecidas pelos versados na técnica como risers, os quais podem fazer a interligação entre uma unidade flutuante e o fundo do mar.

Os risers podem ser flexíveis ou rígidos, ou mesmo uma combinação entre os dois tipos e constituem uma parte considerável dos custos totais nos campos de exploração de petróleo, os quais estão relacionados aos custos de fabricação, instalação e manutenção, por exemplo.

De forma geral, tratando-se de cargas operacionais, os dutos submarinos devem ser projetados para satisfazer os requisitos funcionais devidos aos carregamentos correspondentes ao meio interno (fluido sendo transportado), ao meio externo, cargas ambientais oriundas de ondas e correntes e movimentos da unidade flutuante durante a vida útil de projeto. A fase de instalação é também uma fase crítica nos projetos dos risers. Durante a instalação, além do carregamento combinado de flexão e pressão externa, o duto está sujeito à tração axial exercida pela embarcação de lançamento para evitar a flambagem (colapso) prematura da linha devido à curvatura excessiva. O estado de tensões gerado por esta condição de carregamento deve ser mantido com fatores de segurança adequados, abaixo do correspondente à resistência limite do

duto.

Unidades flutuantes ancoradas, como no caso de plataformas semi-submersíveis, por mais que sejam estáveis, não deixam de sofrer influências do próprio meio ambiente. Exemplos destes movimentos ficam
 5 por conta da indução do movimento das ondas da superfície, o de ventos ou mesmo da correnteza do próprio mar. Nas regiões de águas profundas verifica-se a ocorrência de fortes correntes marinhas. Uma corrente marinha de grande intensidade pode gerar vibrações induzidas por vórtices que elevam a taxa de fadiga do material causando danos
 10 cumulativos aos dutos.

Os movimentos acima sacrificam as conexões dos risers com a plataforma e em casos mais graves atingem a própria estrutura do riser, que pode sofrer uma flambagem estrutural. O problema se apresenta mais grave para risers rígidos, nos quais o estresse é mais agressivo. Os risers
 15 flexíveis minimizam esse estresse transferindo-o, em parte, para a integridade dos materiais flexíveis.

Os risers podem ser classificados de acordo com a configuração, material e finalidade. Com base nas suas configurações, podemos classificá-los em vertical, em catenária ou complexo (usando flutuadores):

20 **a) riser vertical:** aplica-se uma força de tração no topo, com a finalidade de manter o riser sempre tracionado, evitando a sua flambagem. Esta configuração demanda a utilização de plataformas com baixa resposta dinâmica.

b) riser em catenária: na maioria dos casos não é aplicada força de
 25 tração no topo. As extremidades (de topo e de fundo do riser) não estão no mesmo alinhamento.

c) riser complexo: derivado da configuração em catenária, o riser assume uma geometria em forma de catenária dupla através da instalação de flutuadores ou bóias mantidas submersas com poitas.

30 Os dutos rígidos são amplamente utilizados em instalações submari-

nas em virtude da sua simplicidade estrutural e da sua maior resistência ao colapso em elevadas profundidades, em contraposição aos dutos flexíveis. Estes são estruturas complexas, multicamada de polímeros e ligas metálicas, em geral, cada uma com finalidade funcional e estrutural diversa.

Apesar de possuírem algumas vantagens, os dutos flexíveis têm sua resistência limitada, pois as tecnologias atuais limitam as instalações a profundidades de aproximadamente 2.500 metros. No entanto, o processo de instalação de um duto flexível é mais rápido e requer menos tempo de engenharia para a sua realização.

Na atualidade as descobertas de óleo a grandes profundidades no mar têm levado ao desenvolvimento de campos localizados numa profundidade aproximada de 3.000 metros, sendo então o sistema de riser híbrido auto-sustentado (**RHAS**) uma alternativa atraente. O **RHAS** é baseado em um duto rígido vertical de comprimento um pouco menor do que a profundidade local e apresenta-se como uma alternativa mais robusta e duradoura para a configuração tradicional, que utiliza riser flexível.

Quanto maior a lâmina d'água (**LDA**), maior também é o esforço imposto ao riser de exportação. Além do peso, que aumenta as tensões na estrutura, o riser pode, adicionalmente, sofrer vibração pela ação da correnteza. O riser pode não aparentar nenhuma deformação, mas, ao longo de sua vida útil, essas tensões cíclicas podem levá-lo à fadiga e à ruptura. À medida que se avança para águas mais profundas, os projetos de risers tornam-se mais complexos e variados.

O projeto de um duto rígido demanda muitas horas de engenharia, pois a maior rigidez à flexão gera uma série de dificuldades para a sua instalação e operação. Esta característica diminui a adaptabilidade do duto com o solo marinho. Outro problema é relativo à forma como os dutos são estocados no continente e transportados até o local de instalação. O

enrolamento não é tão simples quando comparado ao de dutos flexíveis. Ao mesmo tempo, é necessária a utilização de estruturas maiores para realizá-lo. Existem outros métodos onde a tubulação é montada em alto mar.

5 Atualmente, os sistemas de produção empregam navios sonda de posicionamento dinâmico provido de torre e um riser constituído de juntas roscadas de tubos de perfuração ou *drill pipe*. A estabilidade do riser é dada pela tração aplicada no topo do mesmo por um dispositivo de tensionamento da embarcação, que tem localização subjacente a torre do
10 mesmo. Este sistema de produção é caracterizado pelo alto custo operacional, pois utiliza embarcação de baixa disponibilidade no mercado mundial.

Embarcações do tipo **PLSV** ou *Pipelay Support Vessel* prestam serviços referentes a instalações de tubulações submarinas. Existem
15 diversos modelos de navios disponíveis, cada qual com seu layout de instalação de acordo com os tipos de serviços prestados. Estas embarcações são capazes de instalar quilômetros de tubulação com apenas um carregamento, que pode ser de dutos rígidos, ou de dutos flexíveis, ou até mesmo de ambos dependendo do escopo de trabalho a
20 ser executado.

Alguns equipamentos estão comumente presentes, na construção de embarcações deste gênero, tais como: carretel, tensionadores, guindastes e guinchos.

Uma embarcação do tipo **PLSV**, como o navio *Seven Oceans*, cuja
25 principal atividade se concentra no lançamento de tubulações rígidas, permite o desenvolvimento de atividades secundárias, como por exemplo, a instalação de equipamentos submarinos.

Um dos processos mais rápidos de instalação de dutos rígidos é através de embarcações que utilizam o método de enrolamento ou *Reel*
30 *Method*. Neste método, dutos longos são enrolados em um carretel de

grande diâmetro. A embarcação é carregada em uma base portuária onde já estão fabricadas as seções definidas pelo projeto. No momento em que o carretel está completo, a embarcação parte em direção ao local de instalação e inicia o desenrolamento gradual dos dutos.

- 5 Com o avanço tecnológico, muitos tipos de configurações de risers foram desenvolvidos objetivando viabilizar a produção de petróleo em campos offshore. Dentre os vários tipos de configuração, podemos destacar as que utilizam risers rígidos, como por exemplo: Riser Rígido com Tração de Topo ou *Top Tensioned Riser (TTR)*, *Steel Catenary Riser (SCR)* e configurações híbridas constituídas de partes de riser rígido e
- 10 partes de riser flexível.

O trabalho "Evaluation of service life reduction of a top tensioned vertical riser due to vortex induced vibration" apresentado no XXVI Iberian Latin-American Congress in Computational Methods in Engineering, 2005,

15 por Morooka e colaboradores analisa o comportamento dinâmico de estrutura tipo TTR e sua vida útil devido à fadiga.

Vieira e colaboradores no trabalho "Studies on V.I.V Fatigue Behavior in SCRs of Hybrid Riser Systems" apresentado no 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering,

20 2002; Roveri e colaboradores com o trabalho "Free Standing Hybrid Riser for 1800 m Water Depth" apresentado no 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2005 e Pereira e colaboradores com o trabalho "Experimental Study on a Self Standing Hybrid Riser System Throughout Test on a Deep Sea Model Basin"

25 apresentado no 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2005, discutem os benefícios da utilização de um sistema de configuração híbrida. Basicamente, estes sistemas são compostos por risers flexíveis na parte superior do sistema e de risers rígidos na parte inferior. Estes risers rígidos podem adquirir a configuração

30 vertical ou catenária. Uma das maiores vantagens deste tipo de

configuração é que os efeitos devido aos movimentos dinâmicos da unidade flutuante no riser rígido são atenuados, buscando assim minimizar a falha por fadiga. Em particular, o riser híbrido auto-sustentado (**RHAS**), constituído de um riser rígido vertical suportado por uma bóia de subsuperfície e conectado à unidade flutuante através de um duto flexível ou *jumper* é uma configuração avaliada para aplicação em águas ultra-5 profundas.

Iniciativas neste sentido têm originado concepções que vem crescendo em diversas aplicações como o pedido de patente **US 10 2008/0223583 A1** correspondente ao pedido de invenção brasileiro **PI 0401727-7** que descreve um sistema de riser auto-sustentado para teste de longa duração em produção de petróleo submarina utilizando árvore de natal molhada (**ANM**) acoplada a uma cabeça de poço e a uma unidade flutuante de produção (**UFP**). O dito sistema compreende uma 15 cabeça de poço no fundo do mar, conectada a uma **ANM** dotada de um preventor, sendo conectado a um riser de produção através de uma ferramenta de conexão. O riser, montado internamente a um conjunto de bóias, é mantido tracionado com auxílio desse conjunto de bóias. A extremidade superior do riser é dotada de um terminal de intervenção 20 submarina, dito terminal sendo interligado a uma **UFP** através de um *jumper* flexível para carrear o óleo produzido para essa **UFP**.

A patente **US 6,837,311** descreve uma configuração de riser híbrido que compreende uma pluralidade de risers de aço, substancialmente inseridos em condutores de alumínio, com meios flutuantes e de 25 tensionamento, em que os condutores e risers são rigidamente conectados a uma base ancorada ao fundo do oceano.

O pedido de patente **EP1849701 A1** refere-se a um sistema de ancoragem desconectável compreendendo uma embarcação com um suporte que sustenta o riser que é provido com uma peça no topo do riser 30 que por meio de parafusos desconectáveis é unido ao suporte.

O pedido **WO2005/001235 A1** mostra um sistema de riser de poços offshore e compreendendo um ou mais condutores tubulares suspensos por uma plataforma flutuante e contendo extremidades de fundo estendidas de forma inclinada e fixadas verticalmente no fundo do mar. Uma conexão de fundo é disposta na extremidade dos condutores e compreende um *jumper* para conexão da extremidade inferior de cada condutor a um poço submerso associado, um peso para aplicar uma tensão vertical nos condutores e um equipamento para restringir a extremidade dos condutores contra um movimento horizontal.

10 O **PI 0505400-1 A** descreve um suporte articulado para riser que tem como função principal promover a conexão, com uma unidade flutuante, da extremidade de um riser proveniente de um poço no fundo do oceano, ou de outra plataforma, o mesmo que partindo para a costa, seja rígido, flexível ou constituído pela combinação destes últimos, esteja este em uma configuração em catenária ou outra mais complexa.

15 O **PI 0600219-6 A** apresenta um sistema destinado a compensar a movimentação vertical do ponto de suspensão de risers lançados em uma configuração de catenária, provocada pela movimentação natural presente em embarcações offshore. O objetivo é alcançado com a concepção de um sistema que, segundo a presente invenção, compreende um compensador de movimentos hidropneumático que suporta o riser em configuração em catenária até o fundo do mar e um segmento de riser flexível conectado às facilidades de produção da unidade estacionária de produção (**UEP**).

25 **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

A presente invenção descreve um sistema de riser híbrido auto-sustentado (**RHAS**) aperfeiçoado e seu método de instalação em que se propõem novas configurações de alguns componentes nas interfaces das extremidades superior e inferior do trecho vertical do riser, em relação a algumas configurações já instaladas pela indústria. Em função da resposta

estrutural dinâmica do sistema de **RHAS** descrito, é proposto também um método de instalação desse sistema que permite utilizar dois tipos de embarcações de maior disponibilidade no mercado mundial e, desta forma, promove melhorias técnico-operacionais.

5 BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A **Figura 1** ilustra o esquema de um riser híbrido auto-sustentado (**RHAS**) do estado da arte.

A **Figura 2** ilustra detalhes da interface da extremidade superior do **RHAS** do estado da arte.

10 A **Figura 3** ilustra detalhes da interface da extremidade inferior do **RHAS** do estado da arte.

A **Figura 4** ilustra a nova interface da extremidade superior do trecho vertical do riser com o *jumper* flexível.

15 A **Figura 5** ilustra a interface, do estado da arte, da extremidade inferior do trecho vertical do riser com a fundação e o *jumper* rígido.

A **Figura 6** ilustra a nova interface entre a junta de reforço inferior e o componente da extremidade inferior do riser ou *Bottom Riser Assembly (BRA)* contendo um elemento flexível ou *flexjoint*, constituído de camadas de aço e elastômero.

20 A **Figura 7** ilustra os componentes do **RHAS** aperfeiçoado.

A **Figura 8** ilustra o içamento da junta de reforço inferior e do **BRA** pelo guindaste do **PLSV (Seven Oceans)** e transferência para a torre.

A **Figura 9** ilustra solda da junta de reforço inferior à junta *standard*.

A **Figura 10** ilustra descida das juntas *standard* pelo método *Reel*.

25 A **Figura 11** ilustra o manuseio da junta de reforço superior para solda na junta *standard*.

A **Figura 12** ilustra a preparação para entrega da coluna para a balsa guindaste e de lançamento - **BGL1**.

30 A **Figura 13** ilustra a coluna suportada pelo costado da **BGL1** com manuseio do componente da extremidade superior do riser ou *Top Riser*

Assembly (TRA) e conexão flangeada à junta de reforço superior.

A **Figura 14** ilustra o manuseio do tanque de flutuação e tirante para conexão ao **TRA** - caso 1.

5 A **Figura 15** ilustra o manuseio do tanque de flutuação e tirante para conexão ao **TRA** - caso 2.

A **Figura 16** ilustra a descida do conjunto **RHAS** aperfeiçoado.

A **Figura 17** ilustra a conexão do conjunto **RHAS** aperfeiçoado à fundação.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

10 A proposta do pedido de invenção descreve um sistema de riser híbrido auto-sustentado (**RHAS**) aperfeiçoado que apresenta novas configurações de componentes nas interfaces das extremidades superior (3) e inferior (5) do trecho vertical do riser (1) e propõe em função da resposta estrutural dinâmica do sistema **RHAS**, um método de instalação
15 que permite utilizar dois tipos de embarcações de maior disponibilidade no mercado mundial.

A **Figura 1** ilustra o estado da arte de um sistema de configuração híbrida com aproximadamente 1.100 metros de lâmina d'água (**LDA**) que é composto por um trecho vertical do riser (1) tracionado por um tanque
20 flutuante (2) em sua extremidade superior (3), cujo empuxo fornece estabilidade ao sistema. A ligação entre o tanque flutuante (2) e a extremidade superior (3) do riser (1) é feita por um tirante (4). Nas extremidades superior (3) e inferior (5) do riser (1), são conectadas juntas de reforços superior (6) e inferior (7). Na extremidade inferior (5) do riser
25 (1) situa-se a fundação (8) do mesmo, que pode ser uma estaca de sucção ou um tubo de aço perfurado e cimentado no solo. Na extremidade inferior (5) do riser (1), um elemento denominado *jumper* rígido (9), constituído de aço, faz a ligação entre o trecho vertical do riser (1) e a linha de coleta ou exportação (10) no fundo do mar (11). Um trecho de *jumper* flexível (12),
30 constituído de várias camadas de material polimérico e metálico, conecta a

extremidade do riser (1) a unidade flutuante de produção - UFP (13).

As Figuras 2 e 3 ilustram detalhes da interface da extremidade superior (3) do RHAS que possui um flange (14) que conecta a junta de reforço superior (6) com o *jumper* flexível (12) e da extremidade inferior (5) do RHAS que contém um conector *Rotolach* (15) que é interligado a fundação (8).

A primeira parte desta invenção trata da melhoria estrutural e funcional de alguns componentes do sistema de riser híbrido auto-sustentado (RHAS), enquanto em uma segunda parte descreve-se um procedimento de instalação do RHAS aperfeiçoado utilizando-se o Método *Reel*.

Com relação ao aperfeiçoamento dos componentes, são propostas as modificações (a), (b) e (c) descritas a seguir:

a) A interface entre o *jumper* flexível (12) e o trecho vertical do riser (1) mostrada na Figura 2 requer que os dois sejam instalados conjuntamente. Isto se torna um problema caso a manutenção do *jumper* flexível (12) requeira sua substituição. Considerando-se a geometria dos componentes, a desconexão do flange (14) na interface do *jumper* flexível (12) com a extremidade superior (3) do riser (1) pode demandar equipes de mergulho e equipamentos especializados para a realização da tarefa, havendo, portanto questões técnicas e econômicas significativas relativas a esta operação de manutenção.

Dessa forma, a Figura 4 apresenta uma nova configuração para a extremidade superior (3) do riser (1), contendo o componente *Top Riser Assembly (TRA)* (16) que se refere a uma estrutura tubular em forma de pórtico espacial, com as seguintes funções:

- prover um caminho da carga de empuxo do tanque flutuante (2) para o trecho vertical do riser (1);
- prover suporte para o trecho curvo do riser (1);
- fornecer suporte para a extremidade superior (3) do riser (1), onde

- será acoplado um módulo de conexão vertical (17), localizado na extremidade do *jumper* flexível (12).

A nova configuração apresenta as seguintes diferenças em relação ao estado da arte:

5 • o mandril, ao qual é acoplado o módulo de conexão vertical (17) da extremidade do *jumper* flexível (12), localiza-se fora dos limites da projeção horizontal do tanque de flutuação (2) (distância h_2 na Figura 4), permitindo que o *jumper* flexível (12) seja instalado posteriormente à instalação do trecho vertical do riser (1). Adicionalmente, esta configuração
10 permite que, caso a manutenção do *jumper* flexível (12) requeira que o mesmo seja removido, a desconexão do módulo de conexão vertical (17) seja feita remotamente por robôs submarinos (**ROV**), sem necessidade de mergulhadores.

b) O empuxo aplicado pelo tanque de flutuação (2) é transmitido ao
15 **TRA** (16) em um ponto localizado a uma distância horizontal - h_1 em relação ao eixo vertical da junta de reforço superior (6), enquanto a força vertical exercida pelo *jumper* flexível (12) é aplicada a uma distância horizontal ($h_1 + h_2$) em relação ao mesmo eixo, conforme Figura 4. O h_1 é a distância horizontal entre o eixo principal do tirante (4) e o trecho vertical
20 do riser (1) e o h_2 é a distância horizontal entre o eixo principal do tirante (4) e a extremidade do módulo de conexão vertical acoplado ao **TRA** (16). Estas distâncias dependem de variáveis do projeto como a profundidade da lâmina de água (**LDA**) e as dimensões dos componentes do sistema. Estas configurações fazem com que as forças aplicadas no **TRA** (16) pelo
25 tanque de flutuação (2) e pelo *jumper* flexível (12), de sentidos contrários, resultem em momentos fletores de sinais diferentes na junta de reforço superior (6), o que resulta numa diminuição das cargas estáticas atuantes sobre esta.

c) as interfaces da extremidade inferior do riser (1) com a fundação
30 (8) e o *jumper* rígido (9), mostradas na Figura 5, permitem que, a exemplo

do **TRA** (16), haja uma compensação das forças estáticas atuantes na junta de reforço inferior (7). A força de reação vertical na interface do riser (1) com a fundação (8) é transmitida ao *Bottom Riser Assembly* (**BRA**) (18) num ponto localizado a uma distância horizontal h_3 em relação ao eixo vertical da junta de reforço superior (6), enquanto a força vertical exercida pelo *jumper* rígido (9) é aplicada a uma distância horizontal h_4 em relação ao mesmo eixo, conforme Figura 5. O h_3 é a distância entre o eixo vertical da fundação (8) e o trecho vertical do riser (1) e o h_4 é a distância entre o trecho vertical do riser (1) e a interface entre o **BRA** (18) com o *jumper* rígido (9). Estas distâncias dependem de variáveis do projeto como a profundidade da lâmina de água (**LDA**) e as dimensões dos componentes do sistema. Estas configurações fazem com que as forças aplicadas no **BRA** (18) pela fundação (8) e pelo *jumper* rígido (9) resultem em momentos fletores de sinais diferentes na junta de reforço inferior (7), o que causa uma diminuição das cargas estáticas atuantes.

No estado da arte a interface do riser (1) com a fundação (8) é feita através de um conector mecânico que possui uma *flexjoint* (19) e a junta de reforço inferior (7) é posicionada alguns metros acima da *flexjoint* (19). A geometria desta configuração faz com que os deslocamentos e carregamentos originados do riser (1) sejam quase que integralmente transmitidos ao *jumper* rígido (9).

A **Figura 6** apresenta uma nova configuração em que há um elemento flexível ou *flexjoint* (19) na base da junta de reforço inferior (7). Esta *flexjoint* (19) é constituída de camadas de aço e elastômero intercalados e atenua significativamente o momento fletor transmitido pela junta de reforço inferior (7) à estrutura do **BRA** (18) e ao *jumper* rígido (9), visto que atua como um filtro dos esforços de flexão provenientes. Deste modo o *jumper* rígido (9) fica menos suscetível aos carregamentos dinâmicos provenientes do trecho vertical do riser (1). Neste caso há uma conexão rígida (20) entre o **BRA** (18) e a fundação (8).

A seguir é descrito o procedimento de instalação do **RHAS** proposto utilizando-se o Método *Reel*. Os risers híbridos citados como exemplos do estado da arte foram instalados pelo Método *J-Lay*. Neste método, tubos de aproximadamente 50 metros de comprimento (*quad joints*) são soldados na torre da embarcação durante a instalação, enquanto o riser vai penetrando na água. O Método *Reel* é mais rápido, pois todas as soldas são feitas em terra, com exceção das soldas das juntas *standard* das extremidades nas duas juntas de reforço.

A **Figura 7** mostra os componentes do novo sistema proposto que serão referenciados nas diversas etapas do procedimento de instalação para este sistema. As estruturas tubulares espaciais do *Top Riser Assembly (TRA)* (16) e *Bottom Riser Assembly (BRA)* (18) são representadas de modo simplificado.

O Método *Reel* é utilizado para instalar o trecho correspondente às juntas *standard* (21), onde o dano à fadiga é significativamente menor do que o dano nas extremidades do riser (1). Nestas regiões, onde estão localizadas as juntas de reforço superior (6) e inferior (7), utilizam-se materiais especiais forjados para fazer a transição de esforços. Definiu-se a embarcação *Seven Oceans* (22) ilustrada na Figura 8, que é do tipo **PLSV** (*Pipelay Support Vessel*), dotado de posicionamento dinâmico, para as atividades iniciais do procedimento proposto. Esta embarcação tem uma torre (24) articulada na popa, que pode girar em torno de um eixo transversal à embarcação, permitindo instalar tubos pelo Método *Reel*. Neste método, o tubo é enrolado, num canteiro de obras em terra, numa bobina situada ao nível do convés do navio. Na instalação offshore o tubo é desenrolado e passa pela torre, onde volta a ter a configuração retilínea, conforme Figura 10.

Admite-se que a embarcação *Seven Oceans* (22) (Figura 8) tem um guindaste (25) de capacidade suficiente para içar alguns componentes do sistema. No entanto, quando o riser híbrido auto-sustentado (**RHAS**)

aperfeiçoado está montado, seu peso excede a capacidade de carga do guindaste (25) do Seven Oceans (22) e uma outra embarcação, cujo guindaste tem maior capacidade, torna-se necessária. Definiu-se a **BGL1** (26) (Figura 13), cujo guindaste tem capacidade nominal de 1.000 toneladas, para executar as atividades finais do procedimento proposto.

A **Figura 8** mostra o içamento da junta de reforço inferior (7) e o **BRA** (18) pelo guindaste (24) do Seven Oceans (22) e a transferência do conjunto para a torre. A junta de reforço inferior (7) é acoplada, por exemplo, por meio de uma conexão flangeada ao **BRA** (18) em terra e o conjunto é transportado no convés do Seven Oceans (22) até o local de instalação do **RHAS**.

A **Figura 8** mostra o içamento do conjunto pelo guindaste (24) do Seven Oceans (22). A seguir, o conjunto é transferido para a torre, onde é feita a solda da primeira junta *standard* (21) à junta de reforço inferior (7) (Figura 9). Na seqüência, é feita a descida das juntas *standard* (21) pelo Método *Reel*, desenrolando-se o comprimento equivalente das juntas *standard* (21) (Figura 10).

O conjunto formado pelo **BRA** (18), junta de reforço inferior (7) e juntas *standard* (21) é suportado verticalmente pela parte inferior da torre do Seven Oceans (22) (Figura 11). O guindaste (24) do navio iça a junta de reforço superior (6) de seu convés e a transfere para a torre, onde a mesma será soldada à extremidade superior das juntas *standard* (21) (Figura 11). Em seguida o conjunto é descido por um cabo de aço a uma profundidade que permita fazer a transferência para a **BGL1** (25) (Figura 12).

A **Figura 13** mostra o conjunto formado pela junta de reforço superior (6), juntas *standard* (21), junta de reforço inferior (7), e **BRA** (18) suportados pelo costado da **BGL1** (25). O **TRA** (15), e o tanque de flutuação (2), foram transportados no convés da **BGL1** (25).

A **Figura 13** mostra também **TRA** (16) sendo içado pelo guindaste

da **BGL1** para fazer o acoplamento à junta de reforço superior (6), do **RHAS**, por exemplo, por meio de uma conexão flangeada (26).

Em seguida, o guindaste da **BGL1** (25), içã o tanque de flutuação (2), e o tirante (4), para fazer a conexão deste ao **TRA** (16) (Figura 14), por exemplo, por meio de um conector de acionamento hidráulico. Alternativamente, caso a elevação do topo do **TRA** (16) fique muito acima do convés da **BGL1** (25) após a conexão do **TRA** (16) ao riser (1), o conjunto será descido e ficará suspenso pelo **TRA** (16), preso ao costado (Figura 15). Nesta posição, a conexão do tirante (4) ao **TRA** (16) é feita com o tanque de flutuação (2) sendo movimentado a uma altura menor, atenuando eventuais problemas de interferência com a lança do guindaste.

Na seqüência, a montagem do **RHAS** é descida aproximadamente 100 metros pelo guindaste da **BGL1** (25), de modo a posicionar o **BRA** (18), a algumas dezenas de metros de seu ponto de acoplamento na fundação (8) no solo marinho (10) (Figura 16) e aproximando-se o conjunto da vertical da fundação (8). Durante esta etapa é feito um controle de lastro e de pressão atuantes nos compartimentos do tanque de flutuação (2).

Conforme ilustra a **Figura 17**, o **RHAS** aperfeiçoado é puxado pelo **BRA** (18) por um cabo de poliéster (29) que passa por um sistema de polias localizado na fundação (8) do **RHAS**, para fazer o acoplamento do conector de acionamento hidráulico, localizado na base do **BRA** (18) com a fundação (8). O cabo de poliéster (27) é conectado a um cabo de aço (28) de uma embarcação convencional (29) de manuseio de âncoras. Um contrapeso (30) é utilizado na interface entre o cabo de poliéster (27) e o cabo de aço (28), com objetivo de atenuar a oscilação da força axial nos cabos, devido aos movimentos do barco.

O sistema **RHAS** proposto apresenta novas configurações nas interfaces das extremidades superior (3) e inferior (5) do trecho vertical do riser (1) com o *jumper* flexível (12) e a fundação (8) que promovem uma

redução das cargas estáticas atuantes nestas extremidades, além do momento fletor transmitido pela junta de reforço inferior (7) à estrutura do **BRA** (18) e ao *jumper* rígido (9) ser atenuado significativamente pelo *flexjoint* (19) que atua como um filtro dos esforços de flexão provenientes do riser (1).

Quanto ao método de instalação, propõe-se o método *Reel* que é bem mais rápido que o método *J-Lay* normalmente utilizado. Além disto, no método *Reel*, todas as soldas (com exceção das duas extremidades do trecho vertical) são feitas na fábrica em terra, de modo controlado, obtendo-se um bom desempenho com relação à fadiga. No método *J-Lay*, há várias soldas de campo ao longo do trecho vertical, nas quais não se consegue uma qualidade tão boa quanto às soldas feitas *onshore*.

Combinando-se as duas embarcações, obtêm-se vantagens econômicas e técnicas, pois se contrata uma embarcação do tipo **PLSV** como, por exemplo, a *Seven Oceans* (22), para um determinado serviço e a utiliza também para realizar uma parte da instalação do **RHAS** aperfeiçoado. A outra parte da instalação é feita pela balsa guindaste e de lançamento. Combinando-se as duas embarcações é possível fazer a instalação proposta. Existem no mundo embarcações que fazem a instalação completa, mas são muito onerosas e de menor disponibilidade do que uma embarcação de menor porte como a *Seven Oceans* (22).

REIVINDICAÇÕES

- 1- **SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇADO**, caracterizado por apresentar novas configurações para as extremidades superior (3) e inferior (5) do trecho vertical do riser (1) e serem estas novas configurações estruturas tubulares em forma de pórtico espacial, denominadas *Top Riser Assembly (TRA)* (16) e *Bottom Riser Assembly (BRA)* (18).
- 2- **SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇADO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o TRA (16) prover um caminho da carga de empuxo aplicado pelo tanque de flutuação (2) em um ponto localizado a uma distância horizontal - h_1 que é a distância entre o eixo principal do tirante (4) e o trecho vertical do riser (1), enquanto a força vertical exercida pelo *jumper* flexível (12) é aplicada a uma distância horizontal ($h_1 + h_2$) que é a distância entre o trecho vertical do riser (1) e a extremidade do módulo de conexão vertical (17) acoplado ao TRA (16) e h_1 e h_2 dependem de variáveis do projeto como a profundidade da lâmina de água (LDA) e as dimensões dos componentes do sistema.
- 3- **SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇADO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por um mandril acoplado a um módulo de conexão vertical (17) estar localizado fora dos limites da projeção horizontal do tanque de flutuação (2), permitindo que o *jumper* flexível (12) seja conectado posteriormente à instalação do trecho vertical do riser (1).
- 4- **SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇADO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a força de reação vertical na interface do riser (1) com a fundação (8) ser transmitida ao *Bottom Riser Assembly (BRA)* (18) num ponto localizado a uma distância horizontal h_3 que é a distância entre o eixo vertical da fundação (8) e o trecho vertical do riser (1), enquanto a força vertical

exercida pelo *jumper* rígido (9) ser aplicada a uma distância horizontal h_4 que é a distância entre o trecho vertical do riser (1) e a interface entre o BRA (18) com o *jumper* rígido (9) e h_3 e h_4 dependem de variáveis do projeto como a profundidade da lâmina de água (LDA) e com as dimensões dos componentes do sistema.

5 **5- SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇADO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o *flexjoint* (19) atenuar significativamente o momento fletor transmitido pela junta de reforço inferior (7) à estrutura do BRA (18) e ao *jumper* rígido (9), visto que atua como filtro dos esforços de flexão provenientes.

10 **6- MÉTODO DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇADO**, caracterizado por utilizar uma embarcação dotada de posicionamento dinâmico do tipo PLSV que permite instalar tubos pelo método *Reel* e outra embarcação, tipo balsa guindaste e de lançamento, com capacidade nominal de 1.000 toneladas, para executar as atividades finais de instalação.

15 **7- MÉTODO DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇADO**, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por a junta de reforço inferior (7) ser acoplada ao BRA (18) em terra e o conjunto ser transportado no convés do PLSV até o local de instalação do RHAS proposto.

20 **8- MÉTODO DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇADO**, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por o conjunto da junta de reforço inferior (7) com o BRA (18) ser içado pelo guindaste (24) do PLSV e ser transferido para a torre (23), onde é feita a solda da primeira junta *standard* (21) à junta de reforço inferior (7) e posteriormente ser realizada a descida das juntas *standard* (21) pelo método *Reel*.

25 **9- MÉTODO DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇADO**, de acordo com a

30

reivindicação 7, caracterizado por o conjunto formado pelo **BRA** (17), junta de reforço inferior (7) e juntas *standard* (21) ser suportado verticalmente pela parte inferior da torre (23) do **PLSV** e o guindaste (24) desta embarcação içar a junta de reforço superior (6) do convés e

5 transferir para a torre (23), onde a mesma será soldada à extremidade superior das juntas *standard* (21) e em seguida o conjunto ser descido por um cabo de aço a uma profundidade que permita fazer a transferência para uma balsa guindaste e de lançamento (25), de grande capacidade de içamento de carga, que concluirá a instalação do

10 **RHAS** proposto.

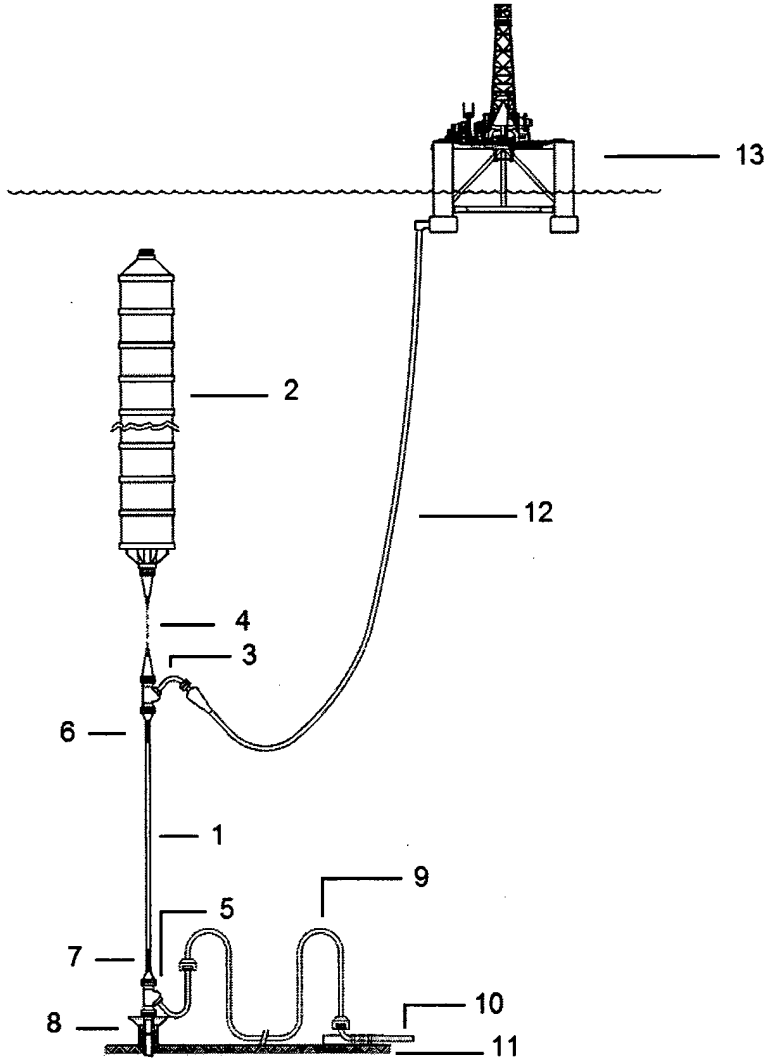


Figura 1

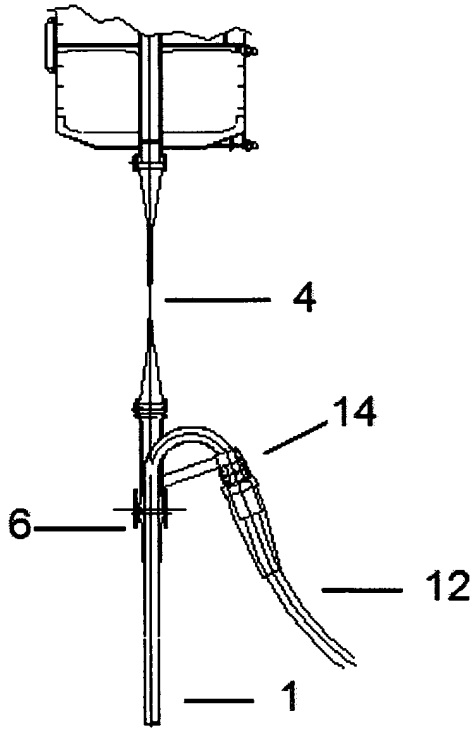


Figura 2

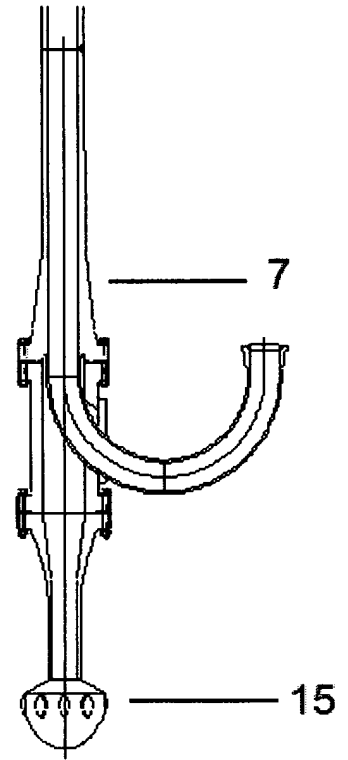


Figura 3

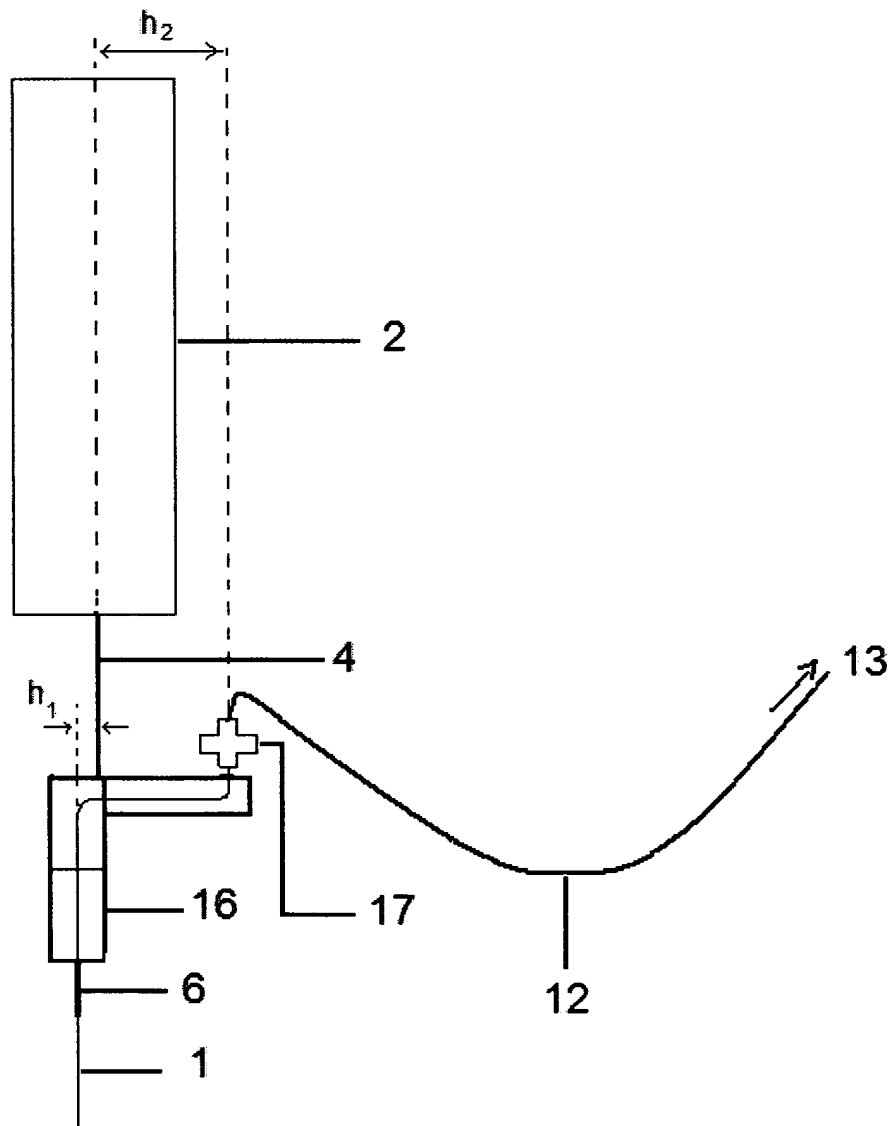
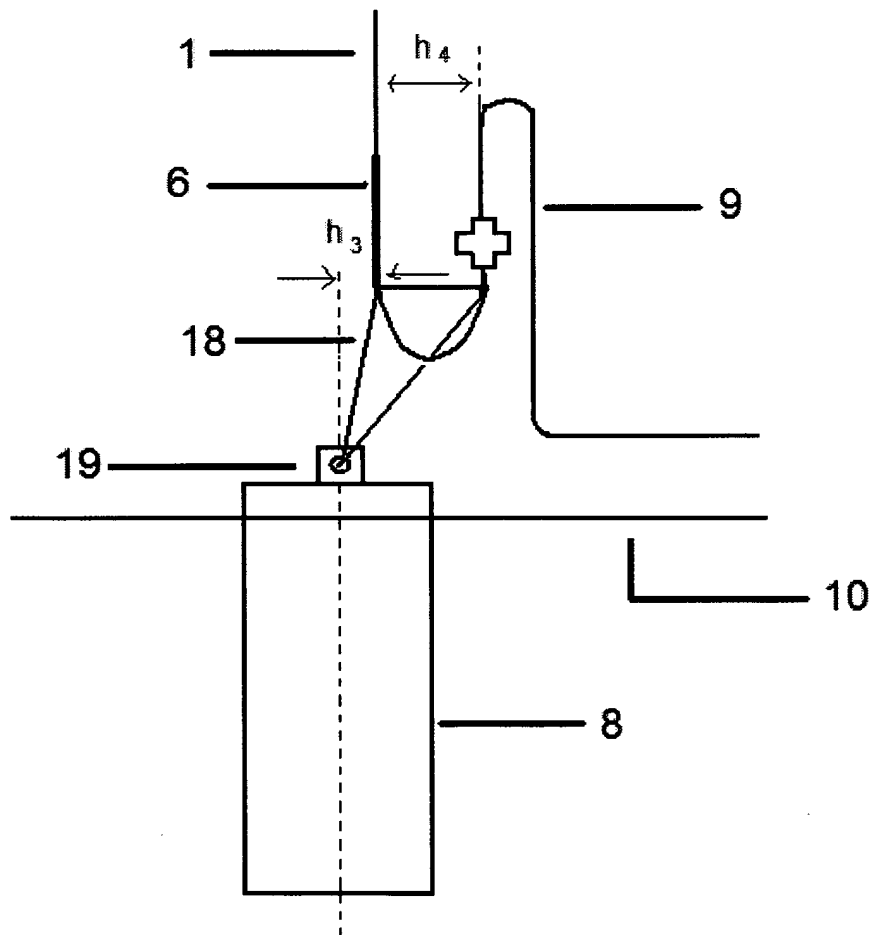


Figura 4

**Figura 5**

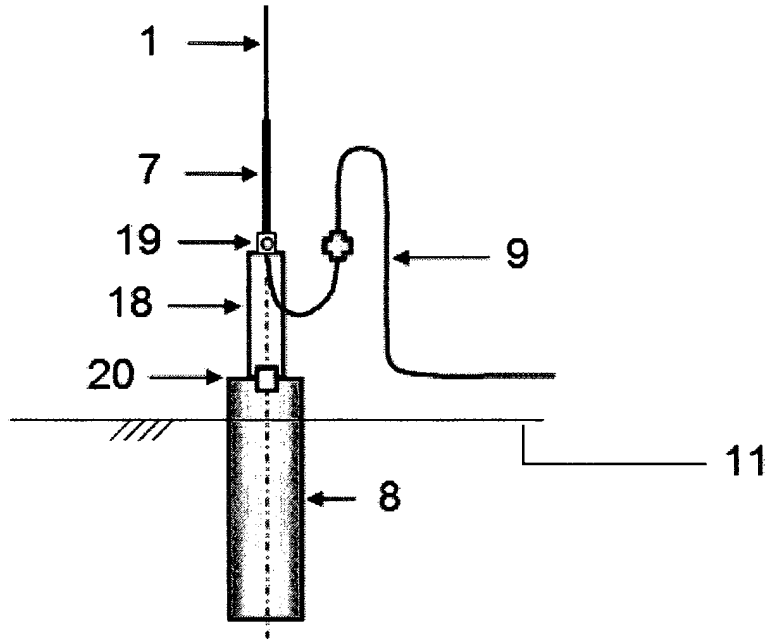


Figura 6

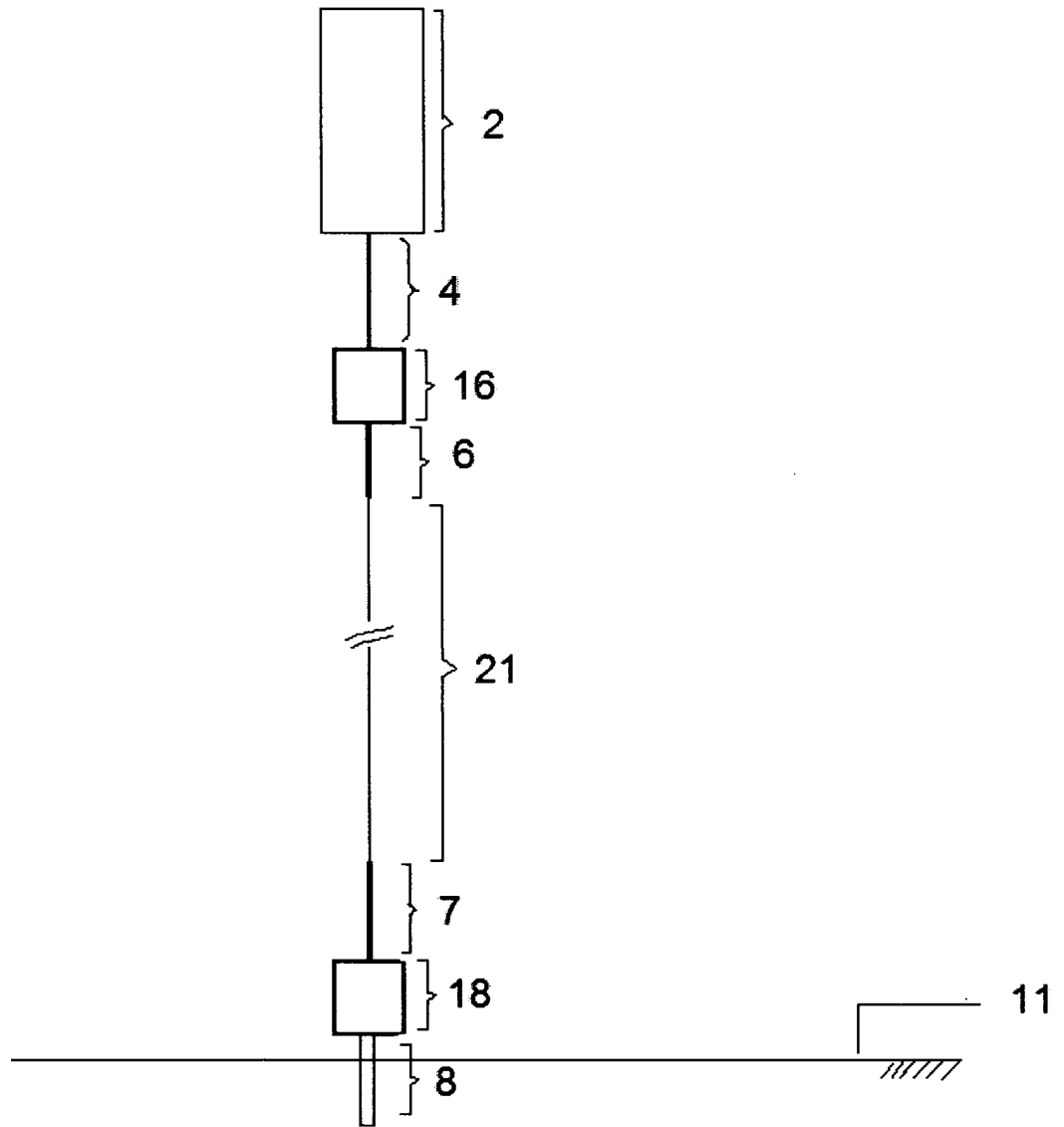


Figura 7

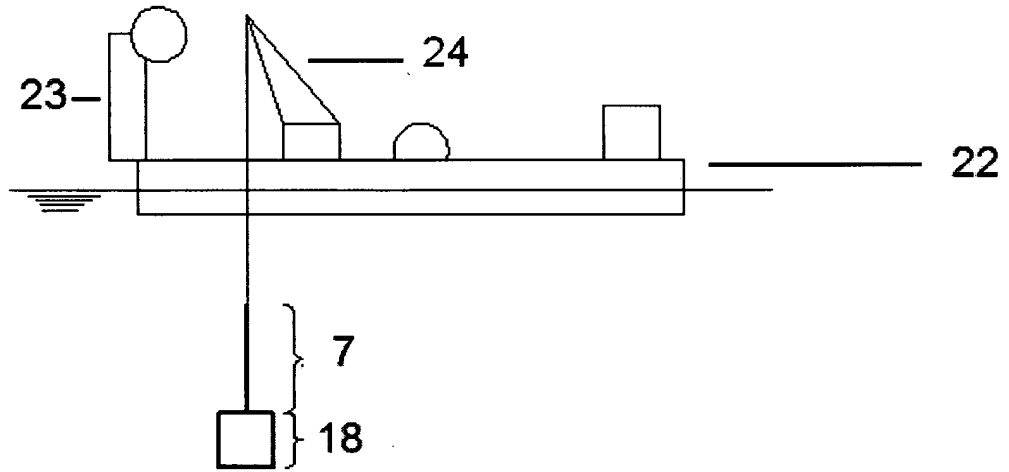


Figura 8

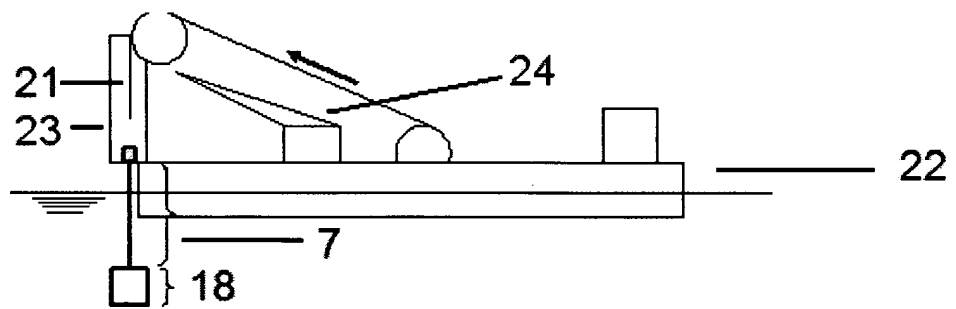


Figura 9

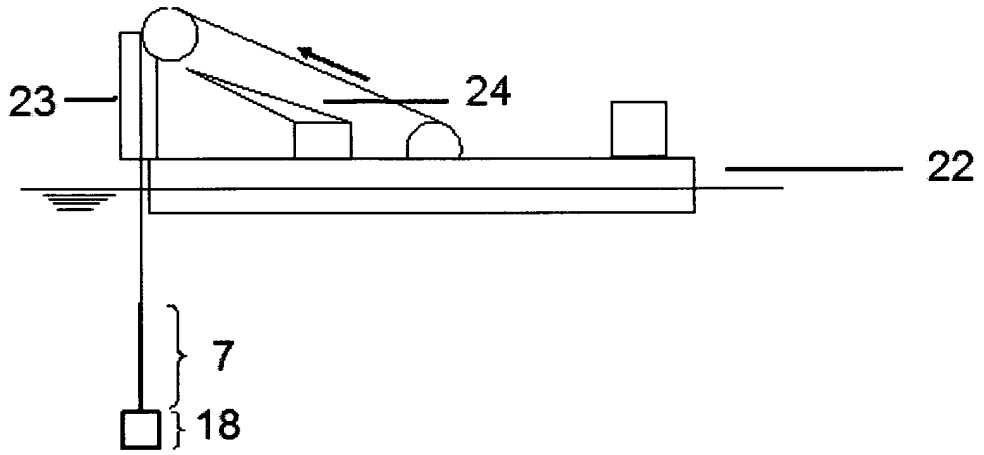


Figura 10

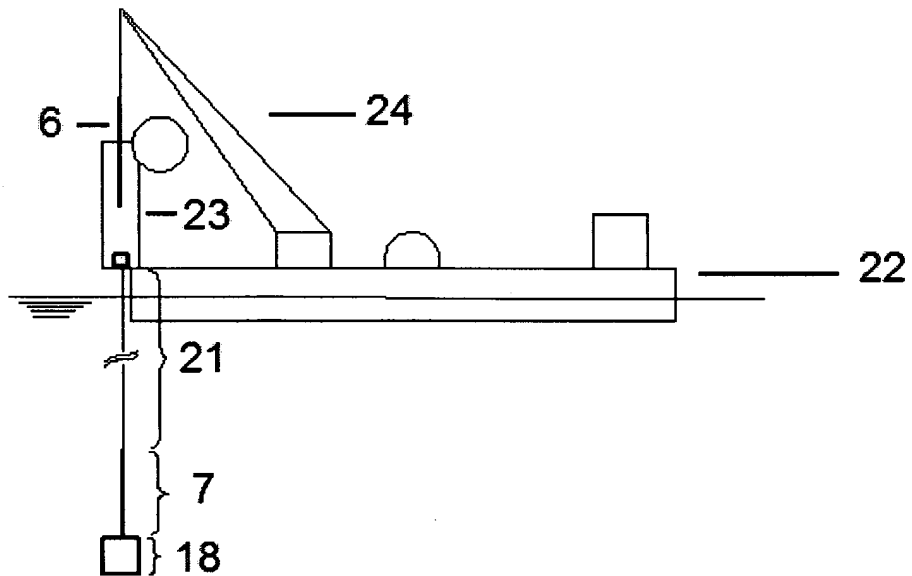


Figura 11

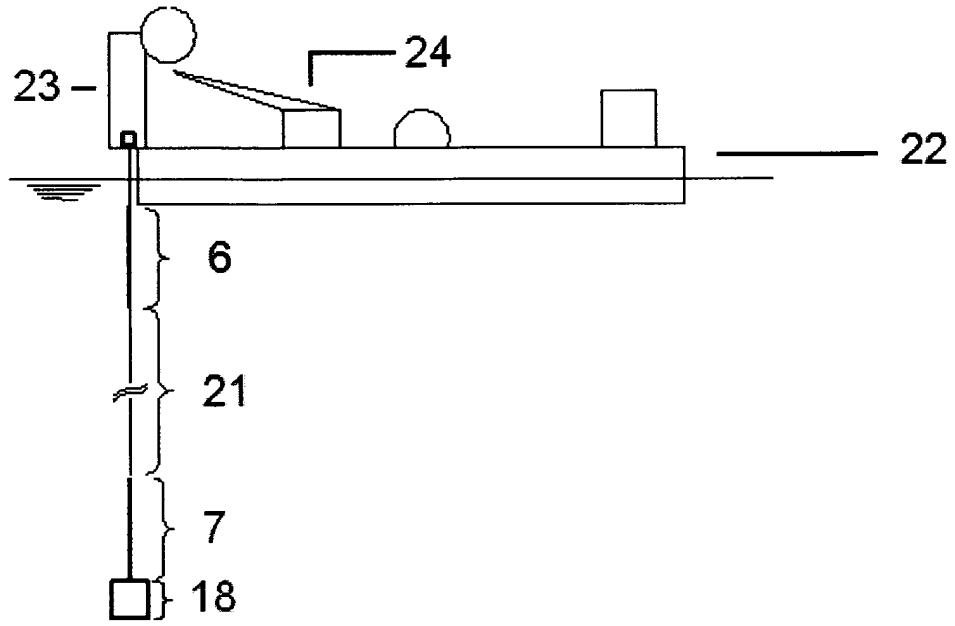


Figura 12

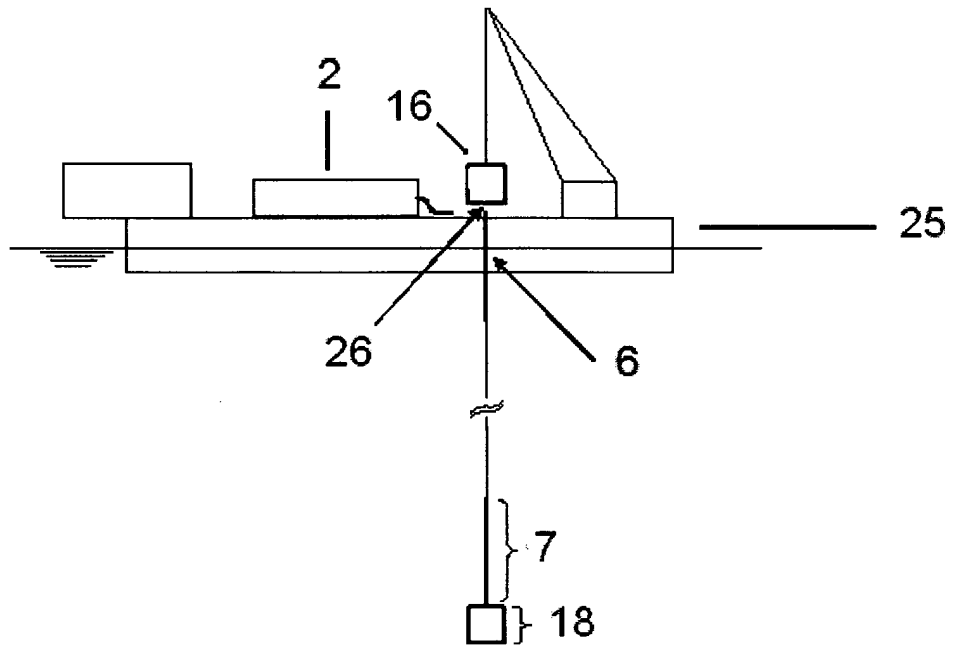


Figura 13

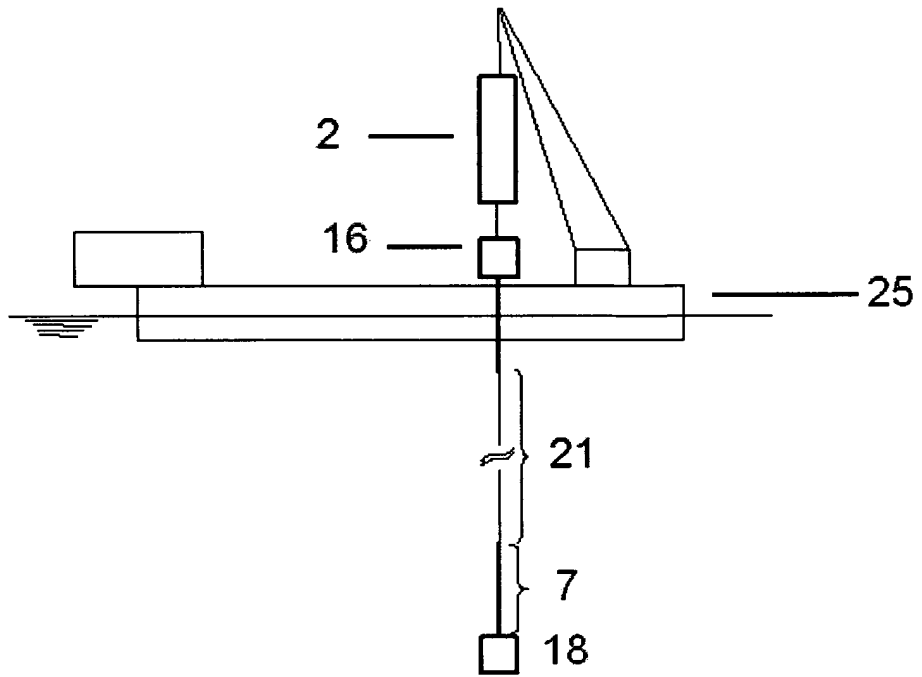


Figura 14

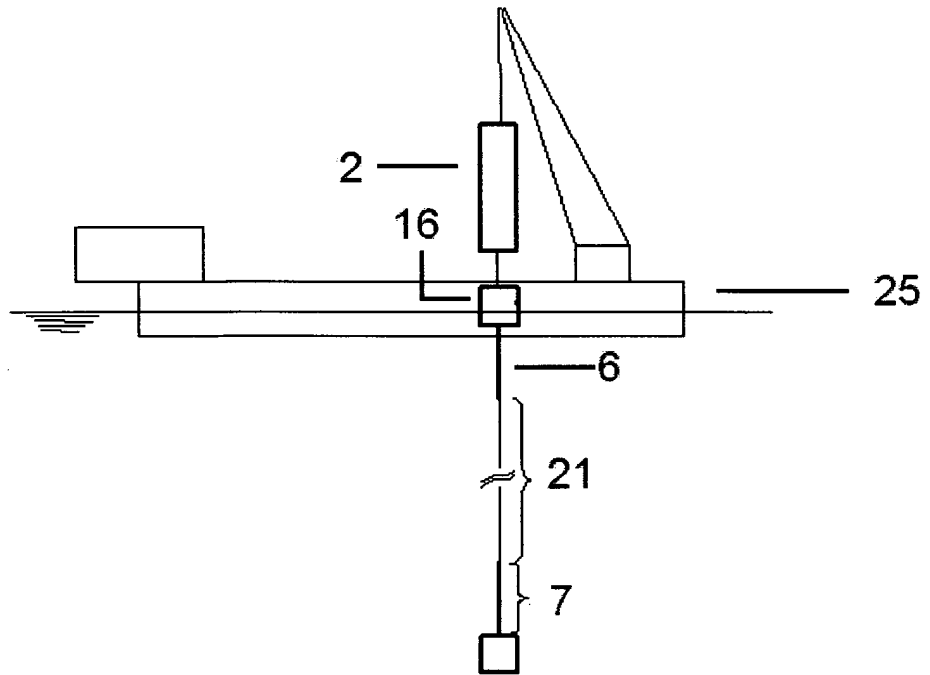


Figura 15

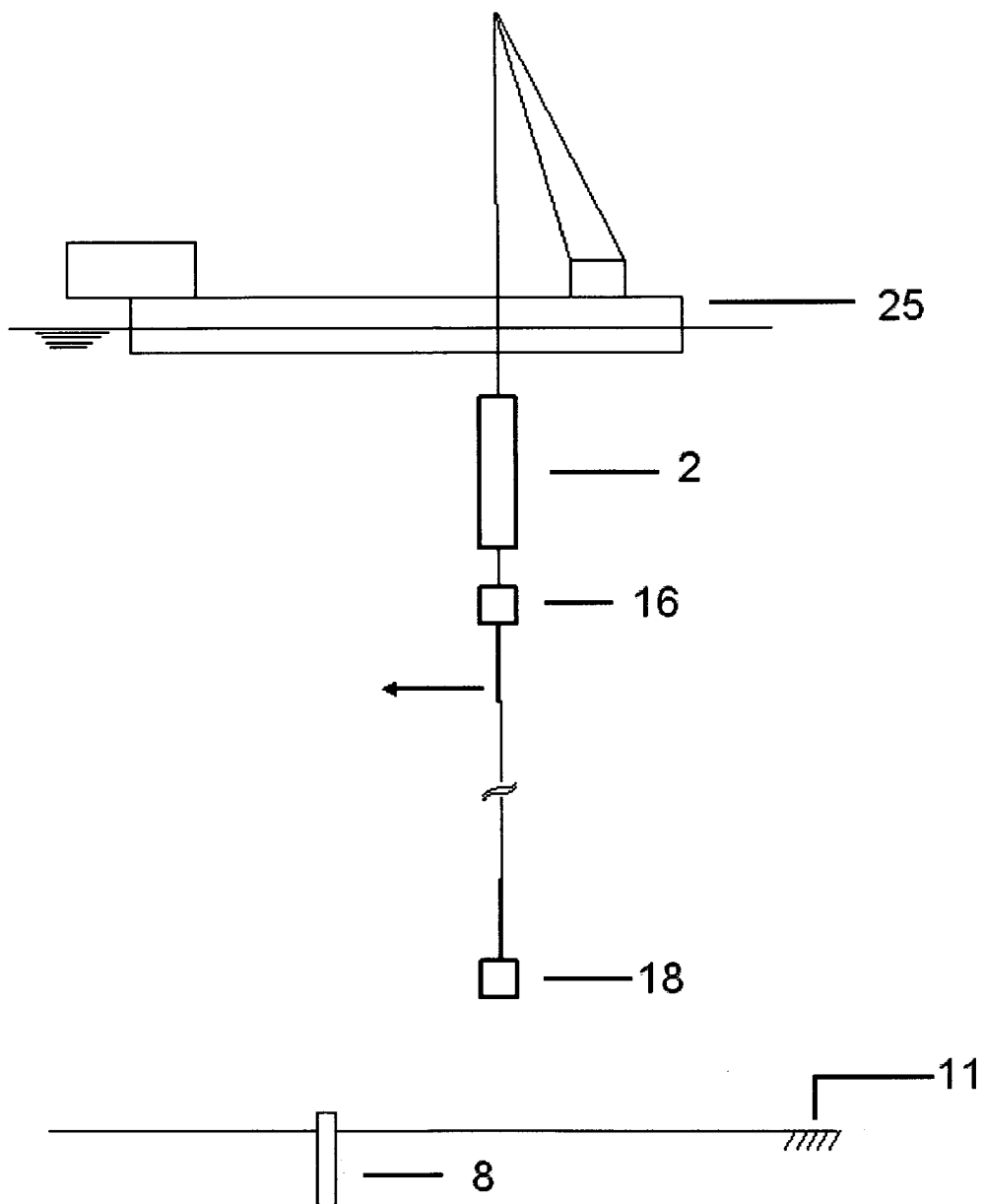


Figura 16

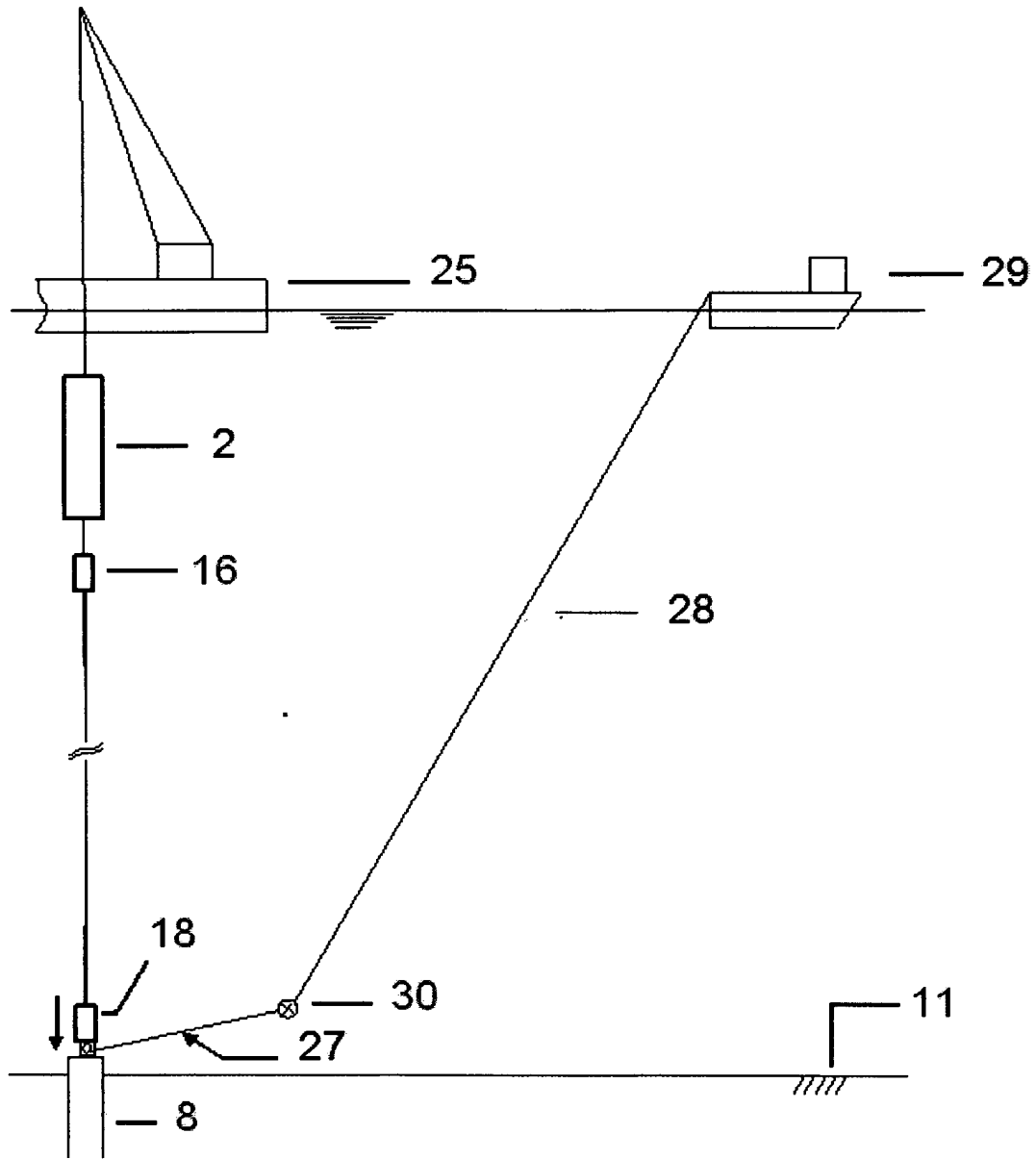


Figura 17

RESUMO**SISTEMA DE RISER HÍBRIDO AUTO-SUSTENTADO APERFEIÇADO
E MÉTODO DE INSTALAÇÃO**

A presente invenção refere-se a um sistema de riser híbrido auto-sustentado (**RHAS**) aperfeiçoado com novas configurações de componentes nas interfaces das extremidades superior (3) e inferior (5) do trecho vertical do riser (1) em relação a configurações já instaladas pela indústria. Esta proposta de invenção descreve também um método de instalação para o **RHAS** proposto que permite utilizar embarcações de maior disponibilidade no mercado mundial e, desta forma, promover melhores ganhos técnico-operacionais.