



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

(11) PI 0610281-6 B1



(22) Data do Depósito: 11/05/2006

(45) Data de Concessão: 12/05/2020

(54) Título: DISPOSITIVO DE TRANSFERÊNCIA DE FLUIDO ENTRE DOIS SUPORTES FLUTUANTES E PROCESSO DE INSTALAÇÃO NO MAR DE UM DISPOSITIVO

(51) Int.Cl.: B63B 27/34; F16L 1/14.

(30) Prioridade Unionista: 13/05/2005 FR 0504848.

(73) Titular(es): SAIPEM S.A..

(72) Inventor(es): FRANÇOIS-RÉGIS PIONETTI; MIDIR RIVOAL.

(86) Pedido PCT: PCT FR2006001053 de 11/05/2006

(87) Publicação PCT: WO 2006/120351 de 16/11/2006

(85) Data do Início da Fase Nacional: 13/11/2007

(57) Resumo: A presente invenção refere-se a um dispositivo de transferência de fluido entre dois suportes (2, 3) flutuantes ancorados ao fundo do mar (5) que comporta um conduto (1) submarino rígido central instalado em subsuperfície, cujas extremidades (1a, 1b) estão ligadas, cada uma e respectivamente, a um dos dois referidos suportes por intermédio de um conduto (11, 16) flexível, na qual: a) a secção principal do referido conduto (1) rígido central compreende ou coopera com elementos (8) de fluviabilidade de modo que o referido conduto (1) rígido central adote, em um estado quase estático de repouso, uma configuração em forma de arco, de um modo preferido, de acordo com uma curva sensivelmente em forma de catenária, de tal modo que os ângulos (X1, OC2) entre as semi-retas dos eixos (XX', YY') do referido conduto rígido e as semi-retas horizontais em cada uma das suas extremidades (1a, 1b) na direção da outra extremidade (1b, 1a), têm um valor absoluto inferior a 20198>, de um modo preferido inferior a 15198> e b) os referidos condutos (11, 16) flexíveis têm comprimentos e curvaturas, de modo que as variações de curvatura dos referidos condutos flexíveis estejam aptas a compensar os movimentos dos suportes flutuantes.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"DISPOSITIVO DE TRANSFERÊNCIA DE FLUIDO ENTRE DOIS SUPORTES FLUTUANTES E PROCESSO DE INSTALAÇÃO NO MAR DE UM DISPOSITIVO"**.

[001] A presente invenção refere-se a um dispositivo de transferência de fluido entre dois suportes flutuantes ancorados ao fundo do mar que comporta um conduto submarino rígido central instalado em subsuperfície cujas extremidades estão ligadas, cada uma e respectivamente, a um dos dois referidos suportes por intermédio de um conduto flexível.

[002] Mais particularmente, a presente invenção refere-se ao domínio conhecido das ligações a grande distância, instaladas em subsuperfície, do tipo que comportam um conduto submarino que liga dois suportes flutuantes ancorados à superfície do mar, ancorados.

[003] A partir do momento em que a profundidade da água se torna importante, a exploração dos campos de produção, nomeadamente campos petrolíferos, efetua-se, de um modo geral, a partir de um suporte flutuante. Este suporte flutuante comporta, de um modo geral, meios de ancoramento para se manter em uma determinada posição apesar dos efeitos das correntes, dos ventos e da ondulação. Também comporta, de um modo geral, meios de armazenamento e de tratamento do petróleo, bem como meios de descarga para petroleiros de armazenamento. A designação destes suportes flutuantes é o termo anglo-saxônico "Floating Production Storage & Offloading" (que significa "suporte flutuante de armazenamento, de produção e de descarga) com as iniciais "FPSO".

[004] Os meios de descarga são, de um modo geral, constituídos por uma bóia ancorada longe do FPSO, de modo a poder acolher petroleiros de armazenamento de grande tonelagem, que podem medir de 250 a 300 m de comprimento para uma tonelagem de porte bruto

de 300 a 450.000 TPB, e mesmo mais. Estas bóias de descarga são conhecidas sob o nome de SPM (Single Point Mooring), ou «ponto de ancoramento único» e estão, de um modo geral, ancoradas ao fundo do mar por múltiplas linhas, de um modo geral 4, 6 ou 8 linhas, ligadas a pontos de ancoramento situados no fundo do mar, sendo os referidos pontos de ancoramento quer âncoras, quer meios de amarração na forma de blocos de âncora, quer ainda âncoras de sucção (pilar de aço embutido no fundo do mar através de sucção).

[005] Para assegurar a segurança das manobras dos petroleiros de armazenamento, é habitual instalar a bóia de escoamento longe do FPSO, podendo a distância atingir 1500 a 2000 m no caso de superpetroleiros de armazenamento.

[006] Quando a profundidade da água é pequena, por exemplo com algumas centenas de metros, o conduto de ligação entre o FPSO e a bóia é instalada de modo convencional no fundo do mar, sendo instalada uma ligação fundo-superfície em cada extremidade, do lado do FPSO, bem como do lado da bóia.

[007] Nas grandes profundidades de água, por exemplo 1000 ou 2000 m, e mesmo mais, tenta-se evitar descer até ao fundo do mar, e, depois, tornar a subir para a superfície, porque a folga de comprimento criada pelo fato do conduto descer e tornar a subir torna-se desvantajosa relativamente à distância horizontal entre os dois suportes flutuantes, em termos de perdas de carga e de arrefecimento do petróleo bruto, dado que o fundo do mar se encontra, sensivelmente, à temperatura de 4°C.

[008] Prefere-se, então, utilizar ligações ditas de «subsuperfície», que se instalam, de um modo geral, a uma profundidade de 150 a 300 m, porque a esta profundidade a ondulação de superfície já não tem, praticamente, efeitos dinâmicos diretos sobre o conduto de escoamento e, além disso, os navios podem navegar livremente sem riscos de

interferência com as referidas ligações de subsuperfície.

[009] Foram criados inúmeros sistemas para efetuar estas ligações de subsuperfície, utilizando, alguns deles, condutos flexíveis muito dispendiosas, pelo fato de apresentarem, de um modo geral, um grande diâmetro, e utilizando, outros, condutos em aço com uma grande espessura associadas a elementos de flutuabilidade.

[0010] Todos estes dispositivos devem assegurar um nível de fiabilidade muito elevado devido aos consideráveis riscos de poluição no caso do conduto se partir, sendo, atualmente, o tempo de vida útil pretendido para as instalações de, pelo menos, 20 anos, e mesmo de, pelo menos, 30 anos.

[0011] Estes dispositivos são submetidos à ação direta da ondulação e da corrente, mas pelo fato de estarem ligados mecanicamente a dois suportes flutuantes, também são solicitados pelos movimentos dos referidos suportes flutuantes. Para atingir os tempos de vida útil pretendidos, os condutos de escoamento devem, desse modo, resistir aos fenômenos de fadiga no interior da matéria que constitui os referidos condutos, sendo os referidos fenômenos de fadiga mais críticos causados pelos movimentos quase permanentes dos referidos suportes flutuantes.

[0012] Com efeito, o FPSO apresenta superfícies consideráveis submetidas à ondulação, ao vento e às correntes e daí resultam movimentos quase permanentes, em termos de balanço transversal, de arfagem, balanço longitudinal e guinada, que podem tornar-se extremos em caso de tempestade. Além disso, os fenômenos de frequência natural de ressonância não deixam de amplificar estes movimentos e, desse modo, de excitar o conduto de escoamento à qual se encontra mecanicamente solidarizado o referido FPSO.

[0013] Do mesmo modo, a bóia de descarga, embora tendo dimensões mais modestas que o FPSO, é também ela submetida à on-

dulação e às correntes e, embora ancorada de um modo extremamente firme, também ela excita o referido conduto de escoamento.

[0014] Para reduzir a tensão criada pelo peso do conduto rígido e limitar a tensão nas extremidades, os elementos de fluabilidade que conferem, portanto, uma flutuação positiva, foram implementados para criar uma onda simples ou dupla (curva em forma de catenária) entre os dois suportes flutuantes. Estas curvaturas conferem o conduto uma folga no comprimento entre as suas extremidades que lhes permite absorver os desvios de comprimento devidos ao deslocamento relativo dos suportes flutuantes.

[0015] Conhece-se a disposição em dupla onda, dita em «W» simétrico (figura 1a) que pode ser efetuada com a ajuda de condutos flexíveis mas que também permite a utilização de condutos em aço de grande diâmetro e de grande espessura. Neste último caso, instalam-se, de um modo geral, articulações flexíveis estanques ou juntas flexíveis em cada uma das extremidades de forma a melhorar o desacoplamento mecânico dos referidos suportes flutuantes (FPSO e bóia) do referido conduto de escoamento rígido de grande espessura. Esta disposição foi implementada no campo Girassol ao largo de Angola.

[0016] Também se conhece a disposição dita em «W» assimétrico (figura 1b), na qual o «V» do lado da bóia de descarga mergulha mais profundamente. Daí resulta um melhor comportamento do conduto em aço de grande diâmetro e de grande espessura, ao nível da fadiga criada pelos movimentos quase permanentes da bóia de descarga, os quais excitam o conjunto da catenária e, principalmente, a zona de curvatura mínima situada na zona do ponto de tangência horizontal. Nesta configuração, a extremidade do conduto do lado da bóia deve ser reforçada por um aumento gradual da espessura do conduto e, em alguns casos, pela interposição de um segmento de conduto cônico com uma espessura continuamente variável cujo comprimento pode

atingir e ultrapassar 15-20m.

[0017] O principal inconveniente desta configuração reside no aumento do peso do conduto e, portanto, da tensão ao nível da bóia de descarga, o que obriga a um acréscimo de fluabilidade criando assim um importante aumento dos custos.

[0018] Conhece-se a disposição dita em «V» simétrico com uma bóia intermediária submergida, que permite, desse modo, desacoplar radicalmente a extremidade do conduto submarino relativamente aos movimentos criados pela bóia de descarga, sendo a ligação entre a bóia submergida e a bóia de descarga assegurada por um conduto flexível.

[0019] Esta configuração necessita de dois sistemas de ancoramento associados, respectivamente, à bóia de descarga e à bóia intermediária submergida, o que dá origem a um aumento considerável dos custos devido à multiplicação do número de pontos de ancoramento e do comprimento das linhas de ancoramento, sobretudo se a profundidade de água atingir e ultrapassar 2000 a 3000 m, e mesmo mais.

[0020] Conhece-se a disposição dita em catenária simples descrita no documento WO01/83291 que consiste em instalar um conduto que mergulha profundamente a partir do FPSO, ou seja abaixo da zona de turbulência, e que torna a subir diretamente sobre a bóia de descarga por intermédio de condutos flexíveis nas extremidades do conduto em aço. Esta alternativa é a versão mais simples e apresenta um bom comportamento relativamente à fadiga, mas obriga, mesmo assim, à utilização de peças forjadas reforçadas nas extremidades, principalmente do lado da bóia de descarga. Além disso, pelo fato da catenária descer muito profundamente, isso origina uma tensão considerável nas extremidades. Se este aumento de tensão não traz qualquer problema ao nível do FPSO, devido à dimensão do suporte flutuante, pelo

contrário, a flutuabilidade da bóia de descarga deve ser grandemente aumentada e a resistência da estrutura deve ser consideravelmente reforçada.

[0021] Em uma variante descrita no documento WO01/83291, a ligação com o FPSO é efetuada por intermédio de um segmento de conduto flexível, sendo a tensão da catenária simples, então, retomada por uma corrente que liga a extremidade do conduto rígido de escoamento ao referido FPSO. Nesta última configuração, como para as anteriores configurações em «W», as curvaturas do conduto rígido são importantes por um lado, e por outro lado, os movimentos relativos dos suportes flutuantes são principalmente absorvidos pelas variações de curvaturado conduto em aço, e isso nas zonas de curvatura máxima, sendo estes dois fenômenos uma fonte de fadiga e de diminuição do tempo de vida útil das instalações, como explicado em seguida. Além disso, estas configurações são difíceis de instalar. Outros inconvenientes destas diferentes configurações são expostos na descrição pormenorizada que se segue associada às figuras 1a a 1d.

[0022] Inúmeros testes realizados em modelos numéricos e em modelos experimentais, bem como observações em locais existentes, como por exemplo no campo Girassol em Angola ou no Golfo do México, mostraram que os fenômenos de fadiga em todos esses sistemas devem ser reunidos em configurações extremamente aleatórias, o que, para garantir um nível muito elevado de segurança de funcionamento, necessita de prever objetivos de tempo de vida útil teóricos em fadiga muito mais elevados, o que conduz a fatores de segurança de 3 a 5 vezes, e mesmo 10 vezes, mais elevados relativamente ao tempo de vida útil pretendido, o qual atinge e ultrapassa, atualmente, os 30 anos.

[0023] O documento WO 01/96771 descreve um conduto de transporte de fluido em subsuperfície entre dois suportes flutuantes

com um conduto rígido cujas 2 extremidades são suportadas por bóias 3 e 4 que cooperam, cada uma, com meios 32, 33 de lastro ou com meios de amarração suspensos (fig. 8) ou que são ancorados ao fundo do mar por ligações (18, 19) de tensionamento (fig. 1 e 6). O documento WO 01/96771 descreve, portanto, uma montagem, quer do tipo ancorado ao solo (fig. 1, 2) quer do tipo livre com meios de amarração suspensos (fig. 8, 8b).

[0024] Este sistema é, portanto, ou muito rígido (no caso do ancoramento ao solo das 2 extremidades), ou muito flexível (no caso da suspensão de meios de amarração em cada extremidade). Daí resulta que, sob o efeito da ondulação ou das correntes transversais, a instalação seja, quer sujeita a fenômenos de fadiga, quer muito instável. Em suma, o comportamento desta instalação aproxima-se das instalações com configuração em W da técnica anterior.

[0025] O documento WO 99/62762 também descreve uma instalação simétrica na qual, além disso, o conduto de transporte de fluido rígida é posicionada em um plano horizontal, portanto em um quase equilíbrio de flutuabilidade, o que é, igualmente, prejudicial no que se refere a resistir ao fenômeno de fadiga devido às instabilidades sob o efeito da ondulação e das correntes.

[0026] O documento WO 2005/090152 descreve de forma especulativa vários sistemas de instalação nos quais, por um lado, o conduto central rígido é ainda posicionado em um plano horizontal, e por outro lado, os ancoramentos nas extremidades do referido conduto central rígido são praticamente verticais não proporcionando, desse modo, praticamente qualquer estabilidade, tanto vertical como transversal, o que torna o referido conduto rígido extremamente sensível ao fenômeno de fadiga criado pela ondulação e pelas correntes transversais.

[0027] A presente invenção fornece um dispositivo de transferência de fluido entre dois suportes flutuantes ancorados ao fundo do mar,

que comporta um conduto submarino rígido central instalado em sub-superfície, cujas extremidades estão ligadas, cada uma, respectivamente, a um dos dois referidos suportes por intermédio de um conduto flexível, no qual:

a) a seção principal do referido conduto (1) rígido central compreende ou coopera com elementos (8) de flutuabilidade de modo que o referido conduto rígido central adote, em um estado quase estático de repouso, uma configuração em forma de arco curvo, de um modo preferido, de acordo com uma curva sensivelmente em forma de catenária, de tal modo que os ângulos (α_1 , α_2) entre as semi-retas dos eixos (XX', YY') do referido conduto rígido e as semi-retas horizontais em cada uma das suas extremidades na direção da outra extremidade, têm um valor absoluto inferior a 20°, de um modo preferido inferior a 15°, e

b) os referidos condutos flexíveis têm comprimentos e curvaturas, de modo a que as variações de curvatura dos referidos condutos flexíveis estejam aptas a compensar os movimentos dos suportes flutuantes, e

c) sendo o referido conduto rígido ligado em cada extremidade por uma ligação de tensionamento seja a um dos dois referidos suportes flutuantes, seja ao fundo do mar, estando as referidas ligações de tensionamento respectivamente ligadas:

- em uma primeira extremidade, a um referido suporte flutuante, a dita primeira extremidade compreendendo ou cooperando com meios de lastro, e

- na sua segunda extremidade, ao fundo do mar, a referida segunda extremidade compreendendo ou cooperando com meios de flutuabilidade adicionais.

[0028] Devido à sua configuração em forma de arco curvo, compreende-se que o referido conduto rígido não se situe em um plano

horizontal entre as suas 2 extremidades, mas apresente uma curvatura quer convexa, se estiver situada acima das suas referidas extremidades, quer côncava se estiver situada por baixo das suas referidas extremidades.

[0029] A manutenção de uma curvatura mínima do referido conduto rígido permite evitar a produção de instabilidades do tipo vibratório sob o efeito da ondulação e das correntes, conduzindo à inversão da curvatura, o que representaria uma forte variação de tensão que teria, então, o efeito de reduzir consideravelmente o tempo de vida útil do referido conduto.

[0030] Compreende-se que a referida extremidade ligada por uma referida ligação de tensionamento a um dos dois referidos suportes flutuantes não fica, então, ligada ao fundo do mar e comporta ou coopera com meios de lastro e não comporta nem coopera com meios de flutuabilidade e, inversamente, a referida extremidade ligada ao fundo do mar por uma referida ligação de tensionamento não está ligada ao outro referido suporte flutuante por uma ligação de tensionamento e compreende ou coopera com meios de flutuabilidade e não compreende nem coopera com meios de lastro.

[0031] Esta configuração assimétrica relativamente às duas extremidades de acordo com a invenção proporciona um bom compromisso entre estabilidade e flexibilidade da instalação de modo a reduzir os fenômenos de fadiga ligados à ondulação e às correntes que podem afetar o tempo de vida útil da instalação. Em particular, obtém-se um compromisso ótimo pela variação do ângulo de inclinação das referidas ligações de tensionamento.

[0032] Mais particularmente, o ângulo α_1 , α_2 entre o eixo da referido conduto rígido nas suas extremidades e a horizontal é mantido com um valor absoluto entre 2 e 20°, de um modo preferido de 5 a 15°.

[0033] De um modo preferido, a referida primeira extremidade da

referido conduto rígido é ligada ao suporte flutuante mais estável dos dois referidos suportes flutuantes.

[0034] Entende-se por suporte flutuante «mais estável», o suporte flutuante menos sujeito a movimentos em função da agitação do mar ligada à ondulação ou às correntes, ou seja o suporte flutuante mais pesado e/ou mais volumoso, e/ou o que está melhor ancorado.

[0035] Os suportes flutuantes de acordo com a invenção podem ser constituídos por plataformas de exploração de campos petrolíferos ou por navios, bóias ou reservatórios flutuantes ancorados ao fundo do mar.

[0036] Em uma forma de realização particularmente vantajosa, os dois suportes flutuantes são constituídos, respectivamente, por um suporte flutuante do tipo FPSO e por uma bóia de descarga.

[0037] De um modo preferido, o referido conduto rígido está ligado pela sua referida primeira extremidade ao referido suporte flutuante de tipo FPSO.

[0038] Deste modo, para o conduto rígido central, o raio de curvatura mínimo da curva em um estado quase estático de repouso (R_m) é superior em quatro vezes, de um modo preferido dez vezes, ao raio de curvatura mínimo limite do conduto, correspondendo o raio de curvatura mínimo limite do conduto, sensivelmente, a uma tensão máxima no material constitutivo do conduto, nomeadamente o aço, sob o único efeito da curvatura, igual a 66% do limite elástico do referido material.

[0039] Para um conduto rígido padrão em aço com um diâmetro de cerca de 500 mm, o raio de curvatura mínimo do referido conduto rígido central em forma de curva de catenária é de 750 m, de um modo preferido 1500 m.

[0040] Nas configurações da técnica anterior, os condutos rígidos em aço apresentam curvaturas importantes e as variações de distância entre os suportes flutuantes são compensadas pelas variações de

curvatura do conduto rígido, na zona de curvatura máxima, dando origem, por conseguinte, a variações de tensão importantes, traduzindo-se a combinação destes dois fenômenos em uma diminuição radical do tempo de vida útil dos referidos condutos rígidos como lembrado anteriormente.

[0041] Deste modo, no caso da configuração em W, os raios de curvatura mínima andam na ordem de 1,2 a 2 vezes o valor do raio de curvatura mínima limite. Seria possível, em teoria, aumentar estes valores, mas, então, as deslocações relativas dos dois suportes flutuantes relativamente um ao outro encontrar-se-iam drasticamente reduzidas, o que vai ao encontro do objetivo pretendido. Com efeito, se nas profundidades de água reduzidas é possível ancorar, utilizando um método de ancoramento passivo (não dinâmico) de forma eficaz, os suportes flutuantes para limitar as deslocações, já quando a profundidade de água atinge e ultrapassa 1000-1500 m, esses sistemas de ancoramento não permitem obter mais que +/- 4% da altura de água, o que obriga o conduto de escoamento a ter uma grande capacidade de deslocação. Deste modo, as configurações extremas, ditas «Near» e «Far» (quando os suportes flutuantes estão, respectivamente, o mais ou o menos afastados um do outro), impõem o conduto rígido em aço variações de esforço muito importantes, tanto maiores quanto o conduto tiver um maior diâmetro, reduzindo de forma drástica o tempo de vida útil em termos de fadiga do sistema.

[0042] A configuração em catenária única mergulhante é, em uma situação de tensão, similar porque os dois suportes flutuantes induzem esforços não filtrados que se adicionam. Além disso, ao nível das conexões de superfície, as tensões são muito elevadas o que gera problemas de vibração. A soma destes dois tipos de excitações faz com que o tempo de vida útil do sistema em termos de fadiga seja consideravelmente reduzido.

[0043] Deste modo, para proporcionar uma capacidade de deslocação, a solução proposta pela técnica anterior é, ou multiplicar o número de arcos, ou aumentar localmente a curvatura do conduto. O aumento da referida curvatura tem como efeito aumentar localmente a tensão, e para pequenos deslocamentos dos suportes flutuantes, as variações de raio de curvatura dão origem a variações importantes de tensão, o que reduz consideravelmente o tempo de vida útil em termos de fadiga.

[0044] A disposição de acordo com a presente invenção permite diminuir consideravelmente a fadiga e, por conseguinte, aumentar, igualmente, o tempo de vida útil do conduto rígido, a qual é condicionada, por um lado, pelo valor da tensão e, por outro lado, pela amplitude da variação da tensão a que está sujeita. Com efeito, de acordo com a invenção, em um estado quase estático de repouso:

- por um lado, a curvatura do conduto rígido é muito pequena (muito grande raio de curvatura), e

- por outro lado, a amplitude da variação do referido raio de curvatura, durante as deslocações dos suportes flutuantes, é drasticamente reduzida relativamente às realizações anteriores.

[0045] Uma outra vantagem da invenção reside na implementação de um comprimento de conduto rígido reduzido relativamente aos condutos com grandes curvaturas da técnica anterior, de onde resultam perdas de cargas reduzidas e uma diminuição do custo.

[0046] A invenção é, além disso, particularmente vantajosa, nomeadamente porque necessita de um mínimo de ancoramento ao fundo do mar e, por conseguinte, reduz os custos, mas também porque permite uma instalação muito fácil do dispositivo de acordo com a invenção no mar, a partir de um navio de instalação, como será explicado mais tarde.

[0047] Em uma forma de realização preferida, as referidas liga-

ções de tensionamento que formam, com os eixos XX' , YY' do referido conduto rígido, nas suas extremidades, ângulos (β, γ) , estão aptas a variar e a deslocar verticalmente as extremidades do referido conduto rígido, quando os referidos suportes flutuantes estão em movimento e a distância entre eles varia, apresentando os referidos ângulos valores, em um estado quase estático de repouso, inferiores a 150° , de um modo preferido inferiores a 100° .

[0048] Produz-se, então, concomitantemente com este movimento rotativo das referidas ligações de tensionamento, um deslocamento vertical das extremidades 1a, 1b do referido conduto rígido. Deste modo, em caso de movimento relativo dos dois suportes flutuantes, afastem-se ou aproximem-se, os ângulos γ ou β entre as referidas ligações de tensionamento e as tangentes às extremidades do conduto podem variar e, nomeadamente, no caso em que os suportes flutuantes se afastam um do outro, aumentar até aos 180° (ângulo máximo) proporcionando, assim, a folga necessária para que o referido movimento tenha um efeito reduzido sobre os esforços de tração ou compressão nas referidas extremidades do conduto rígido e, por conseguinte, um efeito reduzido sobre a variação da curvatura do referido conduto rígido e, por conseguinte, ainda um efeito reduzido sobre a variação de tensão.

[0049] Os referidos meios de lastro e meios de flutuabilidade nas extremidades do conduto rígido facilitam consideravelmente a implementação da invenção, como será explicado mais tarde, porque é graças à regulação dos referidos meios que se pode regular a forma da curvatura do referido conduto rígido central na última etapa do modo de instalação de um dispositivo de acordo com a invenção.

[0050] Na prática, a disposição de acordo com a invenção permite ter um raio de curvatura do conduto em aço de grande espessura muito elevado, ou seja, superior a quatro vezes, de um modo preferido

superior a dez vezes, o raio de curvatura mínimo limitado conduto, correspondendo o referido raio de curvatura mínimo limite, sensivelmente, a uma tensão máxima no material sob o único efeito da curvatura, igual a 66% do limite elástico do referido material.

[0051] Poder-se-ia aligeirar o conduto em aço de modo a compensar exatamente o seu peso morto na água, para obter uma configuração retilínea, ou seja, um raio de curvatura infinito, mas prefere-se, de forma a evitar fenômenos de vibração nos planos vertical, horizontal ou oblíquo, manter a curva em um plano vertical, com uma curvatura ou convexa (flutuabilidade positiva) ou côncava (flutuabilidade negativa).

[0052] De um modo preferido, a profundidade na qual se posicionam as extremidades do conduto rígido inicialmente em repouso, e os ângulos do conduto nas suas extremidades, são sensivelmente idênticos nas duas extremidades do conduto rígido.

[0053] Em uma forma de realização preferida, os referidos condutos flexíveis estão ligados às extremidades do referido conduto rígido central por articulações mecânicas flexíveis, estando estas últimas ligadas mecanicamente por uma ligação de tensionamento, respectivamente ao suporte flutuante e ao ponto de ancoramento situado no fundo do mar.

[0054] As referidas articulações mecânicas flexíveis permitem que os movimentos das referidas ligações de tensionamento, suportes flutuantes e condutos flexíveis se possam fazer sem modificar, sensivelmente, os esforços de compressão ou tração ao nível das referidas extremidades relativamente a um estado quase estático de repouso, limitando, desse modo, os efeitos de desgaste ao nível dos pontos de fixação.

[0055] Em uma forma de realização particular, uma referida articulação mecânica flexível compreende:

- uma tubulação rígida ligada pelas suas extremidades às extremidades respectivas dos referidos conduto rígido e conduto flexível, e

- um corpo principal que constitui uma peça forjada que define

- . uma superfície externa na qual são engatadas as referidas ligações de tensionamento e, se for caso disso, os referidos meios de lastro ou os referidos meios de flutuabilidade, e

- . uma superfície interna que delimita uma passagem vazia atravessada pela referida tubulação, e

- suportando a referida superfície interna do corpo principal e a referida tubulação um batente estratificado que compreende camadas de elastômero com o eixo de revolução XX' , YY' de um modo preferido de tipo esférico, que assegura a ligação mecânica flexível entre o referido corpo principal e a referida tubulação, de forma a permitir movimentos angulares da referida tubulação relativamente ao corpo principal em um cone de ângulo de ponta situado sensivelmente no referido eixo de revolução XX' , YY' do referido batente estratificado, com um ângulo de ponta δ com um valor máximo de 15° .

[0056] De acordo com outras características vantajosas:

- os referidos meios de lastro são constituídos por uma corrente pesada suspensa ao nível da referida primeira extremidade, e

- os referidos meios de flutuabilidade são constituídos por uma bóia na qual a referida segunda extremidade está suspensa.

[0057] De um modo ainda vantajoso, o conduto flexível que assegura a ligação entre a extremidade do conduto rígido e o referido suporte flutuante, de um modo preferido o conduto flexível que assegura a ligação com um suporte flutuante ligado ao fundo do mar por uma referida ligação de tensionamento, ainda de um modo preferido uma bóia de descarga, apresenta uma configuração em S.

[0058] Esta forma de realização permite evitar que o conduto flexível interfira com a referida ligação de tensionamento que assegura o ancoramento da extremidade do conduto rígido ao fundo do mar.

[0059] Este tipo de configuração no qual o conduto flexível está disposta por cima da extremidade do conduto rígido é mais fácil de implementar quando a tubulação que assegura a ligação entre a extremidade do conduto rígido central e o referido conduto flexível apresenta, do lado do conduto flexível, uma extremidade encurvada para cima.

[0060] De acordo com uma outra característica vantajosa da presente invenção, o referido conduto rígido compreende elementos de flutuabilidade constituídos por uma espuma de isolamento térmico repartida ao longo e em torno do referido conduto, de um modo preferido de forma sensivelmente uniforme e contínua para assegurar, desse modo e simultaneamente, o isolamento térmico e a flutuabilidade do referido conduto rígido.

[0061] De acordo com uma variante preferida da realização, o referido conduto rígido apresenta uma curvatura convexa quando vista a partir da superfície do mar. Também é possível que o referido conduto rígido apresente uma curvatura côncava quando vista a partir da superfície do mar. No entanto, é preferido implementar um conduto rígido que apresente uma curvatura convexa quando vista a partir da superfície porque, neste tipo de configuração, parece que as variações de curvatura do conduto rígido, e, por conseguinte, as tensões, são menores que em uma configuração côncava, o que melhora, igualmente, o tempo de vida útil do referido conduto. E, além disso, a instalação é facilitada, como será explicado mais à frente na descrição pormenorizada.

[0062] A presente invenção tem, igualmente, como objetivo um processo de instalação em mar de um dispositivo de acordo com a invenção, a partir de um navio de instalação em superfície, que compre-

ende as seguintes etapas sucessivas:

1) engata-se ao fundo do mar ou, se for caso disso, a um primeiro suporte flutuante, de um modo preferido uma bóia de descarga, uma referida ligação de tensionamento,

2) monta-se e coloca-se no mar o conduto rígido central a partir de elementos unitários de condutos que compreendem ou cooperam com os referidos elementos de flutuabilidade, sendo o primeiro elemento unitário de conduto engatado na extremidade da referida ligação de tensionamento,

3) engata-se uma outra referida ligação de tensionamento à extremidade do último elemento de conduto, e, depois, a um segundo suporte flutuante ou, se for caso disso, ao fundo do mar,

4) instalam-se os referidos meios de lastro e meios de flutuabilidade nas extremidades do conduto rígido e, depois

5) instalam-se os referidos condutos flexíveis entre os suportes flutuantes e as referidas primeira e segunda extremidades do conduto rígido.

[0063] De um modo preferido, no processo de acordo com a invenção:

- na etapa 1), engata-se a referida ligação de tensionamento no fundo do mar do lado do referido suporte flutuante menos estável, de um modo preferido uma bóia de descarga e

- na etapa 3), engata-se a outra referida ligação de tensionamento a um referido suporte flutuante mais estável, de um modo preferido do tipo FPSO.

[0064] Outras características e vantagens da presente invenção surgirão à luz da descrição pormenorizada que se vai seguir, fazendo-se referência às figuras que se seguem e nas quais:

- As figuras 1a e 1b são vistas laterais de um dispositivo de ligação subsuperfície com uma configuração conhecida, respectiva-

mente de «W» simétrico (figura 1a) e de «W» assimétrico (figura 1b), entre um FPSO e uma bóia de descarga, de acordo com a técnica anterior.

- A figura 1c é uma vista lateral de um dispositivo de ligação subsuperfície com uma configuração conhecida de «W» associada a uma bóia submarina intermediária, entre um FPSO e uma bóia de descarga, de acordo com a técnica anterior.

- A figura 1d é uma vista lateral de um dispositivo de ligação subsuperfície com uma configuração conhecida de uma simples catenária, entre um FPSO e uma bóia de descarga.

- A figura 2a é uma vista lateral de um dispositivo de ligação subsuperfície de acordo com a invenção, entre um FPSO e uma bóia de descarga, constituído por um conduto rígido que forma um arco flutuante com uma curvatura positiva (convexa quando vista da superfície), ligada por intermédio de articulações mecânicas flexíveis o condutos flexíveis, ao referido FPSO e à referida bóia de descarga em cada extremidade, com uma corrente pesada como lastro na extremidade do conduto rígido do lado do FPSO.

- A figura 2b representa a configuração do dispositivo da figura 2a sem correntes pesadas na extremidade do conduto rígido.

- A figura 3 é uma vista lateral relativa à figura 2a que mostra de forma pormenorizada a ligação do conduto rígido da referida ligação subsuperfície, à referida bóia, bem como o seu ancoramento.

- A figura 4 é um corte em vista lateral da articulação mecânica flexível entre o conduto rígido e o conduto flexível do lado do FPSO.

- A figura 5 é um corte em vista lateral da articulação mecânica flexível entre o referido conduto rígido central e o conduto flexível, do lado da bóia de descarga.

- A figura 6a representa uma variante da figura 2a, na qual

o arco formado pelo conduto rígido central apresenta uma flutuabilidade ligeiramente negativa e, por conseguinte, uma curvatura negativa (forma côncava quando vista a partir da superfície).

- A figura 6b representa a variante da figura 6a sem meio de lastro na extremidade do conduto rígido central do lado do FPSO.

- A figura 7 representa uma variante da figura 2a, na qual o conduto flexível, na direção da bóia de descarga, apresenta uma configuração em S, por cima da ligação de tensionamento que assegura o ancoramento da extremidade do conduto rígido ao fundo do mar.

- A figura 8 representa a variação de inclinação das ligações de tensionamento de amarração 13 e de ancoramento 18 das extremidades 1a e 1b, respectivamente, do conduto 1 central rígido, e a subida ou descida das referidas extremidades durante os movimentos relativos dos suportes 2 e 3 flutuantes.

- As figuras 9a a 9d representam as diversas fases de instalação de um dispositivo de transferência de acordo com a invenção.

[0065] Nas figuras 1a a 1d ilustraram-se as diversas configurações da técnica anterior nas quais se representou um conduto 1 de escoamento de petróleo bruto que liga um FPSO 2 e uma bóia 3 de descarga que flutuam à superfície e que estão ancorados, respectivamente, por linhas 4a, 4b de âncora ligadas a pontos de ancoramento, não representados, situados no fundo 5 do mar, como por exemplo âncoras, meios de amarração na forma de blocos de ancoragem, ou âncoras de sucção.

[0066] Nas figuras 1a, 1b, 1c, o conduto 1 de escoamento é aligeirada localmente por elementos 6 de flutuabilidade de tipo espuma sintética instalados em torno do conduto 1 rígida, de forma a inverter a sua curvatura, a qual é, então, quando vista a partir da superfície e a começar no FPSO ou na bóia, sucessivamente côncava, depois convexa, e depois, finalmente, côncava. Existem, deste modo, nestas três

configurações, dois pontos de inflexão, situados, respectivamente, de um lado e doutro da zona central aligeirada. Nestas três figuras indicaram-se as zonas 7a sujeitas a uma fadiga importante, e as zonas 7b que necessitam de um reforço local do conduto. O referido reforço ou é efetuado por um aumento por patamar da espessura da parede do conduto, ou pela utilização de peças de conexão cônicas para se obter uma variação contínua da espessura da referida peça de conexão. Estas peças tubulares cônicas de espessura variável são muito delicadas em termos de fabrico, porque o seu comprimento atinge e excede 12 a 15 m e o seu custo, muito elevado porque são de aço de elevado desempenho, torna-se exorbitante quando devem ser fabricadas em titânio para atingir os objetivos de resistência e resistência à fadiga.

[0067] Na figura 1d, a zona 7a sujeita à fadiga, encontra-se no ponto mais baixo da catenária e a zona 7b que necessita de reforço próxima da bóia 3 de descarga deve ser reforçada por uma referida peça de conexão cônica de espessura escalonada.

[0068] Os movimentos relativos dos suportes flutuantes relativamente um ao outro são absorvidos por uma variação de curvatura do conduto rígido nas zonas de curvatura máxima, ou seja, respectivamente nos dois pontos baixos das catenárias extremas de curvatura côncava e ao nível do ponto elevado da catenária central de curvatura convexa. Daí resultam variações de tensões importantes nessas zonas entre as posições mais próximas e mais afastadas dos referidos suportes flutuantes, o que reduz, consideravelmente, o tempo de vida útil do conduto rígido de escoamento.

[0069] Na figura 2a, representou-se em uma vista lateral o conduto de escoamento de acordo com a invenção, que liga um FPSO 2 e uma bóia 3 de descarga constituída por um conduto 1 central rígida com uma configuração em arco simples de curvatura convexa, quando vista a partir da superfície. A referida curvatura convexa é obtida pelo aligei-

ramento do conduto por elementos 8 de fluutuabilidade de forma descontinua. No entanto, obtém-se, de um modo vantajoso, uma fluutuabilidade com uma espuma disposta continuamente em torno do conduto, que faz, assim, o papel de isolamento térmico, de modo a que a temperatura do petróleo bruto transferido mantenha uma temperatura tão elevada quanto possível durante todo o percurso, e, portanto, uma viscosidade tão baixa quanto possível, o que permite otimizar o débito na conduto. Deste modo, esta espuma de isolamento e de fluutuabilidade será, de um modo vantajoso, repartida ao longo e em torno do conduto, de um modo preferido de forma contínua.

[0070] A primeira extremidade 1a do conduto 1 central de escoamento está ligado, do lado FPSO 2, a uma primeira articulação 12 mecânica, na qual se conecta um primeiro conduto 11 flexível que termina na sua outra extremidade em 11a em um conduto 2a rígido solidário com a orla do referido FPSO 2. Este primeiro conduto 11 flexível tem, de um modo preferido, um diâmetro interno idêntico ao do conduto 1 central de escoamento e ao da tubulação 12c da referida primeira articulação 12 mecânica, como será explicado em seguida. A referida primeira articulação 12 mecânica está ligada ao FPSO 2 em um ponto 2b de engate por intermédio de uma ligação de tensionamento de amarração, como por exemplo uma corrente 13, de um modo preferido um cabo, em aço ou em material compósito, e suporta um meio de lastro constituído por um segmento 14 de corrente pesada, por exemplo com 100 a 200 toneladas, ou por um meio de amarração com um peso similar, pendente, simplesmente, à vertical do seu ponto de fixação na referida primeira articulação 12 mecânica.

[0071] A segunda extremidade 1b do conduto 1 central rígido, do lado da bóia 3 de descarga, está ligada a uma segunda articulação 15 mecânica, ela própria ligada a um segundo conduto 16 flexível conectado em 3a à bóia 3 de descarga. Um flutuador 17 compensa o peso

aparente do conjunto na extremidade do conduto 1 rígido e um cabo 18 de tensionamento e de ancoramento solidário com a segunda articulação 15 mecânica está ligada em 20a a uma âncora 20 de sucção ao nível do fundo do mar, como se mostra na figura 3. No caso de existirem correntes transversais importantes, dois cabos 18 de ancoramento serão, de um modo vantajoso, utilizados. As duas âncoras 20 de sucção correspondentes serão, então, posicionadas, de um modo preferido, simetricamente em relação ao plano vertical passando, sensivelmente, pelos eixos do FPSO e da bóia de descarga.

[0072] Na figura 6a representou-se uma variante da invenção na qual se torna o conduto 1 rígido central de escoamento ligeiramente pesada na água, através da regulação do impulso vertical no sentido ascendente criado pela flutuabilidade 8 repartida, de um modo preferido, de forma contínua ao longo de todo o conduto e fazendo, simultaneamente, o papel de isolamento térmico, o que lhe confere, quando vista a partir da superfície, uma curvatura côncava. Nesta configuração, é conveniente, então, reduzir o peso da corrente 14 pesada, ou dos meios de amarração equivalentes, para compensar a menor flutuabilidade do conduto 1 rígido central de escoamento, e é conveniente, em contrapartida, aumentar de forma significativa, a flutuabilidade do flutuador 17 relativamente à figura 2a.

[0073] Em uma versão preferida da invenção mostrada de forma pormenorizada nesta mesma figura 6a, o segundo conduto 16 flexível está equipado com flutuadores 16a e a extremidade da tubulação 15c está encurvada no sentido ascendente, de forma a que o referido conduto 16 flexível não interfira com o cabo 18 de ancoramento.

[0074] Na figura 7 representou-se em uma vista lateral um conduto rígido central de escoamento com uma configuração convexa, quando vista a partir da superfície, na qual o segundo conduto 16 flexível está disposta verticalmente por cima da segunda articulação 15 mecânica,

devendo a tubulação 15c estar, então, curvada no sentido ascendente.

[0075] O flutuador 17 está, neste caso, integrado diretamente no referido conduto 16 flexível no ponto 17a, mantendo um flutuador 16a complementar, submerso e associado a limitadores de curvatura, não representados, uma curvatura aceitável na parte alta da catenária do referido conduto 16 flexível.

[0076] Nas figuras 2a, 6a e 7, o peso da corrente 14 pesada e a fluatibilidade do flutuador 17 são regulados em função do peso linear do conduto 1 rígido de modo a que o referido conduto 1 rígido central adote, em um estado quase estático de repouso, uma configuração em forma de arco, de um modo preferido de acordo com uma curva sensivelmente em forma de catenária de modo a que os ângulos α_1 , α_2 entre as semi-retas dos eixos XX', YY' do referido conduto rígido e as semi-retas horizontais em cada uma das suas extremidades 1a, 1b na direção da outra extremidade 1b, 1a, tenham um valor absoluto inferior a 20°, de um modo preferido inferior a 15°. A corrente 14 pesada e o flutuador 17 permitem dispor as ligações 13 e 18 de tensionamento de acordo com um ângulo, respectivamente, γ e β com mais de 150°, de um modo preferido com mais de 100°, relativamente aos eixos XX' e YY' das extremidades 1a e 1b respectivas dos condutos rígidos centrais, e permitem, desse modo, absorver os movimentos relativos dos suportes 2 e 3 flutuantes como explicado em seguida.

[0077] Nas figuras 2b e 6b, verifica-se que a ausência de uma corrente 14 pesada dá origem a um quase alinhamento da ligação 13 de tensionamento de amarração à extremidade 1a do conduto rígido, formando, desse modo, um ângulo com cerca de 180° entre a referida ligação de tensionamento e o eixo do conduto rígido nessa extremidade 1a, pelo que o deslocamento relativo dos suportes flutuantes não pode ser absorvido pela variação deste ângulo e dá origem, necessariamente, a uma variação importante da curvatura do conduto, e, por-

tanto, uma variação importante das tensões no conduto, o que reduz consideravelmente o tempo de vida útil do referido conduto.

[0078] A figura 4 é uma vista em corte lateral de uma primeira articulação 12 mecânica de tipo batente estratificado que comporta um corpo 12a principal que comporta uma zona oca ou uma passagem central vazia, um batente 12b estratificado e uma tubulação 12c interna conectada, pela sua parte direita à extremidade 1a do conduto 1 central de escoamento, e pela sua parte esquerda o primeiro conduto 11 flexível. O corpo 12a principal recebe, na sua superfície externa, a extremidade da ligação 13 de tensionamento e de amarração e suporta a corrente 14 pesada.

[0079] A figura 5 é uma vista em corte lateral de uma segunda articulação 15 mecânica de tipo batente estratificado que comporta um corpo 15a principal, um batente 15b estratificado e uma tubulação 15c interna conectada, pela sua parte esquerda à extremidade 1b do conduto central de escoamento, e pela sua parte direita o segundo conduto 16 flexível. O corpo 15a principal recebe a extremidade do cabo 18 de tensionamento e de amarração e está suspenso pelo flutuador 17, não representado, por um cabo 17a.

[0080] As articulações 12, 15 são, inicialmente, instaladas no conduto 1 rígido central de escoamento na altura do seu fabrico a bordo do navio 22 de instalação, por solda direta das tubulações 12c, 15c às extremidades do referido conduto rígido central. A segunda extremidade das referidas tubulações 12c, 15c está equipada com componentes de bloqueio nos quais se conectam os condutos flexíveis de ligação com o FPSO e a bóia de descarga. O conduto central de escoamento é, portanto, contínua de componente de bloqueio a componente de bloqueio, e pelo fato de estarem presentes componentes de bloqueio, é, então, fácil substituir os condutos flexíveis de extremidades, se necessário, na altura das operações de manutenção da instalação.

[0081] Os batentes 12b e 15b estratificados são constituídos por empilhamentos de camadas de elastômeros e de chapas metálicas, de um modo preferido de forma esférica que permitem deformações, e, portanto, variações angulares da tubulação 12c, 15c relativamente ao corpo 12a, 15a principal. Deste modo, a referida tubulação pode deslocar-se no interior de um cone de ângulo de ponta δ_2 , que é neste caso, por exemplo, sensivelmente de $\pm 15^\circ$, ao mesmo tempo que está apta a transmitir esforços de compressão consideráveis, que podem atingir várias dezenas, e mesmo várias centenas de toneladas, por intermédio do batente estratificado. Este tipo de batente estratificado, conhecido pelos especialistas com experiência na técnica, é fabricado pela Société TECHLAM France e a sua forma é, de um modo vantajoso, sensivelmente esférica, o que permite ter um efeito de autocentragem, o que leva a uma melhor repartição das tensões no interior do referido batente, evitando, desse modo, os riscos de aperto das camadas de elastômero o que pode conduzir a uma degradação do desempenho da articulação mecânica, e mesmo ao seu colapso.

[0082] A segunda articulação 15 mecânica apresenta um batente 15b estratificado bem como funcionalidades de articulação similares às da primeira articulação 12 mecânica, mas a sua forma difere devido às diversas forças a equilibrar, as quais são radicalmente diferentes de um lado ao outro do referido conduto 1 de escoamento.

[0083] A título de exemplo, o dispositivo de acordo com a invenção em uma posição média apresenta as seguintes características:

- a distância entre o FPSO 2 e a bóia 3 de escoamento é de $L_1 = 2000 \text{ m}$,
- a profundidade de água é de $H_1 = 1400 \text{ m}$,
- o comprimento efetivo do arco flutuante do conduto 1 central de escoamento é de 1700 m ,
- o conduto 1 rígido de escoamento em aço tem um diâme-

tro interno de 478 mm e uma espessura de 15 mm, e está integralmente preenchida com petróleo bruto com uma densidade de 0,82.

[0084] A ligação 13 de tensionamento do lado FPSO mede 290 m, e está ligada a uma corrente 14 pesada de 200 toneladas ao nível da articulação 12 mecânica flexível situada, em uma configuração estática, a uma profundidade H_2 de cerca de 230 m, e a uma distância horizontal $L_2 = 200$ do referido FPSO.

- o primeiro conduto 11 flexível entre o FPSO e o conduto 1 central rígido tem um comprimento de 320 m,

- a articulação 15 mecânica flexível do lado da bóia 3 de descarga está situada a uma profundidade $H_3 =$ a cerca de 235 m, e a uma distância horizontal $L_3 = 200$ m do eixo da referida bóia de descarga,

- um flutuador 17 de 85 toneladas de flutuabilidade estabiliza a segunda articulação 15,

- duas ligações 18 de ancoramento de 1850 m estão solidárias com a articulação 15 mecânica flexível, e estão ligadas a duas âncoras 20 de sucção posicionadas de um lado e doutro do plano vertical que contém o FPSO e a bóia de escoamento.

[0085] No caso de agitação máxima, criada principalmente pelos movimentos extremos do FPSO, os ângulos α_1 , α_2 dos eixos do conduto nas suas extremidades relativamente à horizontal não excedem os $\pm 15^\circ$, e o arco do conduto central rígido deforma-se de tal modo que a sua parte superior se desloca verticalmente ao longo de uma distância de cerca de 50 m no sentido ascendente, quando o FPSO e a bóia de descarga têm tendência a aproximar-se, e de 50 m no sentido descendente quando o FPSO e a bóia de descarga têm tendência a afastar-se.

[0086] O conduto 1 rígido de escoamento em aço com um diâmetro interno de 478 mm e com 15 mm de espessura, preenchida inte-

gralmente com petróleo bruto com uma densidade de 0,82 apresenta um raio (R_m) de curvatura mínimo em um estado quase estático de repouso do conjunto, $R_m \simeq 2000$ m. O limite elástico do aço do conduto é $\sigma = 413$ MPa, o que corresponde para o diâmetro externo do conduto de 508 mm e para uma tensão com uma curvatura limitada apenas a 66% do limite elástico, a um raio de curvatura mínimo limite $R_{mu} \simeq 130$ m. Deste modo, no dispositivo de acordo com a invenção, o raio R_m de curvatura mínimo em um estado quase estático de repouso do conjunto é, sensivelmente, igual a 15,4 vezes o R_{mu} , portanto largamente superior a 10 vezes o R_{mu} .

[0087] Deste modo, no dispositivo de acordo com a invenção, quando o FPSO 2 se afasta da bóia de descarga, a folga necessária é proporcionada principalmente pela variação do ângulo γ , o que corresponde a uma ligeira subida na direção da superfície da articulação 12 mecânica flexível e a uma rotação da ligação 13 de amarração em torno do seu ponto 2b de fixação no FPSO, no sentido contrário ao dos ponteiros de um relógio, como representado na figura 8. Do mesmo modo, do lado da bóia 3 de descarga, o ângulo β aumenta, a articulação 15 mecânica flexível afunda-se ligeiramente em um arco de círculo centrado no ponto 20a de ancoramento do cabo 20 de ancoramento, e a extremidade 1b do conduto rígido em forma de arco, conectada à referida articulação 15 mecânica flexível, afunda-se, então, ligeiramente, como está igualmente representado na figura 8. Os dois condutos 11 e 16 flexíveis sofrem, por conseguinte, deformações importantes, mas estas últimas não provocam praticamente nenhuma reacção no sistema, e, por conseguinte, nenhuma tensão significativa.

[0088] Sendo a resistência à fadiga inversamente proporcional à amplitude de variação de tensão entre o estado de tensão máxima e mínima, o conduto rígido de acordo com a invenção apresenta, desse modo, uma resistência à fadiga decuplicada, e mesmo mais, relativa-

mente aos dispositivos da técnica anterior ilustrados nas figuras 1a-1d. Com efeito, nos sistemas convencionais, os movimentos de separação e de aproximação do FPSO e da bóia são unicamente absorvidos pela deformação do conduto rígido que forma três arcos nas configurações 1a, 1b 1c, e um único arco no caso da configuração 1d. Estas deformações permanecem importantes e os raios de curvatura variam em uma vasta gama nas zonas 7a, induzindo, por isso, variações de tensões importantes entre os valores mínimo e máximo, reduzindo, por isso, radicalmente, a resistência à fadiga do conduto rígido de escoamento.

[0089] Deste modo, o arco do conduto de escoamento de acordo com a invenção permite atingir um tempo de vida útil teórico em termos de fadiga da ordem dos 10000 anos para qualidades de solda padrão no domínio do offshore, o que pode ser considerado como um tempo de vida útil quase infinito, enquanto os tempos de vida útil teóricos em termos de fadiga dos sistemas convencionais conduzem a valores de 300 a 500 anos, o que só dá, para esses sistemas de acordo com a técnica anterior, um fator 10 a 15 de segurança de funcionamento relativamente ao objetivo de tempo de vida efetivo das instalações que é de 25-30 anos, e mesmo mais. Este fator de 10 a 15 é, atualmente, correntemente considerado pelos operadores petrolíferos como insuficiente para qualificar a segurança de funcionamento das suas instalações. O dispositivo de acordo com a invenção permite aumentar radicalmente este fator de segurança em proporções de 20 a 30 vezes, mantendo-se a implementação de tecnologias com provas dadas, e custos de pré-fabrico e de instalação reduzidos.

[0090] As figuras 9a-9d ilustram as diversas fases de instalação do dispositivo de transferência de acordo com a invenção que compreende as seguintes etapas sucessivas:

- instala-se a âncora 20 de sucção bem como uma primeira

ligação 18 de tensionamento ou cabo de ancoramento que torna a ser levada para a superfície (figura 9a);

- o navio 22 de instalação equipado com uma torre de instalação em J engata a primeira extremidade 1b do conduto 1 rígido central na extremidade do cabo 18 de ancoramento por intermédio de uma primeira articulação 15 flexível, estando a referida extremidade 1b de conduto já conectado à tubulação 15c da articulação 15 mecânica flexível, a qual está, portanto, conectada ao corpo 15a principal na extremidade do cabo 18 de ancoramento (figura 9b);

- a integralidade do conduto 1 rígido é montado por segmentos sucessivos de elementos unitários com 50 m de comprimento, sendo os elementos de fluatibilidade e de isolamento térmico (não representado) instalados simultaneamente em torno do conduto, a qual flutua, então, na superfície 21;

- a segunda extremidade 1a do conduto 1 rígido está equipada com uma segunda articulação 12 mecânica flexível, e uma segunda ligação de tensionamento ou cabo 13 de amarração está conectada à referida segunda articulação 12 mecânica flexível, e a segunda extremidade do referido cabo 13 de amarração está ligada ao cabo de um guincho (não representado) situado a bordo do FPSO (figura 9c);

- um flutuador 17 está conectado à primeira articulação 15 mecânica flexível, que flutua próximo da superfície da água; a referida segunda extremidade do referido cabo 13 de amarração é, então, puxada pelo referido guincho na direção do FPSO e conectada ao referido FPSO em 2b;

- a corrente 14 pesada é, então, colocada na referida segunda articulação 12 flexível com a ajuda dum cabo 14a derivado a partir do navio 22 de instalação (figura 9d) e depois

- os dois condutos 11 e 16 flexíveis são instalados nas extremidades 1a, 1b respectivas do conduto 1 rígido central para se ob-

ter a configuração final média da figura 2.

[0091] O espírito da invenção mantém-se quando se consideram dois condutos 1 rígidos em forma de arco instaladas em paralelo, possuindo cada uma delas, então, peças de articulação 12 e 15 mecânicas flexíveis nas extremidades, sendo as referidas articulações 12, do lado FPSO, de um modo preferido, independentes uma da outra, ou seja, que nenhum dos condutos 1 rígidos está ligado a uma ligação 13 de tensionamento intrínseca e a uma corrente 14 pesada intrínseca. E, do lado da bóia 3 de descarga, as peças 15 de articulação mecânica estão, de um modo preferido, ligadas a uma mesma ligação 18 de tensionamento e, se for caso disso, a um mesmo flutuador 17.

[0092] Esta configuração permite economizar uma âncora 20 de sucção (30 toneladas) e uma ligação de ancoramento (1500 a 2000 m de acordo com a profundidade da água) suplementares, que não terão que ser, portanto, instaladas no fundo do mar.

[0093] Esta disposição com "linhas paralelas" apresenta a vantagem de se poder purgar as linhas entre dois carregamentos para evitar que o petróleo bruto parafínico não congele nos condutos devido ao arrefecimento do conjunto. Para efetuar a referida purga, bombeia-se, de um modo vantajoso, a partir do FPSO, gásóleo para o primeiro conduto e, por intermédio de um jogo de válvulas situadas ao nível da bóia de descarga, faz-se regressar o fluido na direção do FPSO pelo segundo conduto. Depois da purga efetuada, a linha fica em segurança, à espera do próximo carregamento, e a linha será, então, purgada com petróleo bruto, sendo o gásóleo recuperado para o ciclo seguinte, retomando os dois condutos, então, o funcionamento paralelo para escoar o petróleo bruto com um débito máximo na direção do petroleiro de armazenamento.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de transferência de fluido entre dois suportes (2, 3) flutuantes ancorados ao fundo do mar (5) que comporta um conduto (1) submarino rígido central instalado em subsuperfície, cujas extremidades (1a, 1b) estão ligadas, cada uma e respectivamente, a um dos dois referidos suportes por intermédio de um conduto (11, 16) flexível, em que:

a) a seção principal do referido conduto (1) rígido central compreender ou cooperar com elementos de flutuabilidade (8) de modo a que o referido conduto (1) rígido central adote, em um estado quase estático de repouso, uma configuração em forma de arco curvo, e

b) os referidos condutos (11, 16) flexíveis terem comprimentos e curvaturas, de modo a que as variações de curvatura dos referidos condutos flexíveis estejam aptas a compensar os movimentos dos suportes flutuantes, e

c) sendo o referido conduto rígido ligado em cada extremidade por uma ligação (13, 18) de tensionamento, seja a um dos dois referidos suportes (2, 3) flutuantes, seja ao fundo do mar,

caracterizado pelo fato de que as referidas ligações (13, 18) de tensionamento estão respectivamente ligadas:

- em uma primeira extremidade (1a), a um referido suporte (2, 3) flutuante, compreendendo ou cooperando a referida primeira extremidade (1a) com meios (14) de lastro, e

- na sua segunda extremidade (1b), ao fundo do mar, compreendendo ou cooperando a referida segunda extremidade (1b) com meios de flutuabilidade adicionais (17).

2. Dispositivo de transferência de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o referido conduto (1) rígido central adotar, em um estado quase estático de repouso, uma configura-

ção em forma de arco curvo de acordo com uma curva sensivelmente em forma de catenária, de tal modo que os ângulos (α_1 , α_2) entre as semi-retas dos eixos (XX', YY') do referido conduto rígido e as semi-retas horizontais em cada uma das suas extremidades (1a, 1b) na direção da outra extremidade (1b, 1a), têm um valor absoluto inferior a 20°, de um modo preferido inferior a 15°.

3. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a referida primeira extremidade (1a) do referido conduto rígido está ligada ao suporte (2) flutuante mais estável de entre os dois referidos suportes flutuantes.

4. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que os dois referidos suportes flutuantes são constituídos, respectivamente, por um suporte flutuante de tipo FPSO (2) e por uma bóia (3) de descarga.

5. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o referido conduto rígido está ligado pela sua referida primeira extremidade a um referido suporte flutuante de tipo FPSO (2).

6. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que as referidas ligações (13, 18) de tensionamento que formam, com os eixos (XX', YY') do referido conduto rígido, nas suas extremidades (1a, 1b), ângulos (β, γ) estão aptas a variar e a deslocar verticalmente as extremidades (1a, 1b) do referido conduto rígido, quando os referidos suportes flutuantes estão em movimento e a distância entre eles varia, apresentando os referidos ângulos valores, quando o dispositivo está em um estado quase estático de repouso, inferiores a 150°, de um modo preferido inferiores a 100°.

7. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado por

- os referidos meios (14) de lastro serem constituídos por uma corrente pesada suspensa ao nível da referida primeira extremidade, e

- os referidos meios (17) de fluutuabilidade serem constituídos por uma bóia na qual a referida segunda extremidade está suspensa.

8. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que os referidos condutos (11, 16) flexíveis estão ligados às extremidades do referido conduto rígido central por articulações (12, 15) mecânicas flexíveis que compreendem:

- uma tubulação rígida (12c, 15c) ligada pelas suas extremidades às extremidades respectivas dos referidos conduto (1) rígido e conduto (11, 16) flexível, e

- um corpo principal (12a, 15a) que constitui uma peça forjada que define

- uma superfície externa na qual são engatadas as referidas ligações (13, 18) de tensionamento e, se for o caso, os referidos meios (14) de lastro ou os referidos meios (17, 16a-17a) de fluutuabilidade, e

- uma superfície interna que delimita uma passagem vazia atravessada pela referida tubulação, e

- suportando a referida superfície interna do corpo principal e a referida tubulação um batente (12b, 15b) estratificado que compreende camadas de elastômero com o eixo de revolução (XX', YY') de um modo preferido de tipo esférico, que assegura a ligação mecânica flexível entre o referido corpo principal e a referida tubulação, de forma a permitir movimentos angulares da referida tubulação relativamente ao corpo principal em um cone de ângulo de ponta situado sensivelmente no referido eixo de revolução (XX', YY') do referido batente estratificado, com um ângulo de ponta δ com um valor máximo de 15°.

9. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que o conduto (16) flexível que assegura a ligação entre o conduto (1) rígido e o referido suporte (2, 3) flutuante, de um modo preferido o conduto (16) flexível que assegura a ligação com um suporte (3) flutuante ligado ao fundo do mar por uma referida ligação (18) de tensionamento, ainda de um modo preferido uma bóia (3) de descarga, apresenta uma configuração em S.

10. Dispositivo de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a tubulação que assegura a ligação entre a extremidade do conduto rígido central e o referido conduto (16) flexível apresenta uma extremidade (15d) encurvada no sentido ascendente do lado da ligação flexível.

11. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que o referido conduto (1) rígido compreende elementos (8) de flutuabilidade constituídos por uma espuma de isolamento térmico repartida ao longo e em torno do referido conduto, de um modo preferido de forma sensivelmente uniforme e contínua para assegurar, desse modo e simultaneamente, o isolamento térmico e a flutuabilidade do referido conduto rígido.

12. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de que o referido conduto (1) rígido apresenta uma curvatura convexa quando vista a partir da superfície (21) do mar.

13. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de que o referido conduto (1) rígido apresenta uma curvatura côncava quando vista a partir da superfície (21) do mar.

14. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, caracterizado por o ângulo (α_1 , α_2) entre o eixo do referido conduto rígido nas suas extremidades e a horizontal ser mantido com

um valor absoluto entre 2 e 20°, de um modo preferido de 5 a 15°.

15. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizado pelo fato de que o raio de curvatura mínimo do referido conduto rígido central em forma de curva de catenária é de 750 m, de um modo preferido 1500 m.

16. Processo de instalação no mar de um dispositivo como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 15, a partir de um navio (22) de instalação em superfície, caracterizado pelo fato de que compreende as seguintes etapas sucessivas:

1) engata-se ao fundo do mar ou, se for o caso, a um primeiro suporte flutuante, de um modo preferido uma bóia (3) de descarga, uma referida ligação (18) de tensionamento,

2) monta-se e coloca-se no mar o conduto (1) rígido central a partir da montagem de elementos unitários de condutos que compreendem ou cooperam com os referidos elementos (8) de flutuabilidade, sendo o primeiro elemento unitário de conduto engatado na extremidade da referida ligação (18) de tensionamento,

3) engata-se uma outra referida ligação (13) de tensionamento à extremidade (1b) do último elemento de conduto, e, depois, a um segundo suporte (2) flutuante ou, se for o caso, ao fundo do mar,

4) instalam-se os referidos meios (14) de lastro e meios (17) de flutuabilidade nas extremidades (1a, 1b) do conduto rígido e, depois

5) instalam-se os referidos condutos (11, 16) flexíveis entre os suportes (2, 3) flutuantes e as referidas primeira e segunda extremidades (1a, 1b) do conduto rígido.

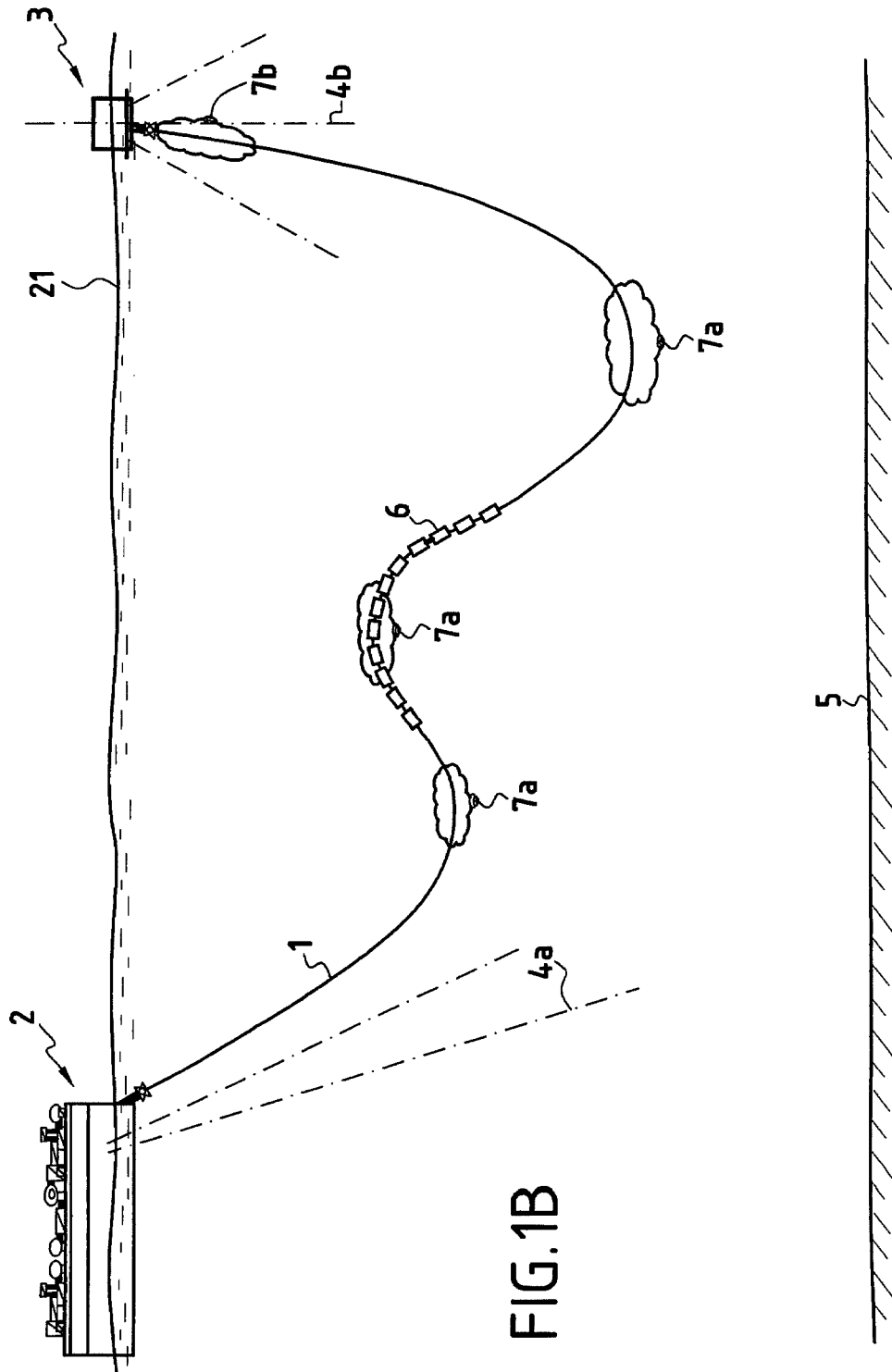
17. Processo de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que:

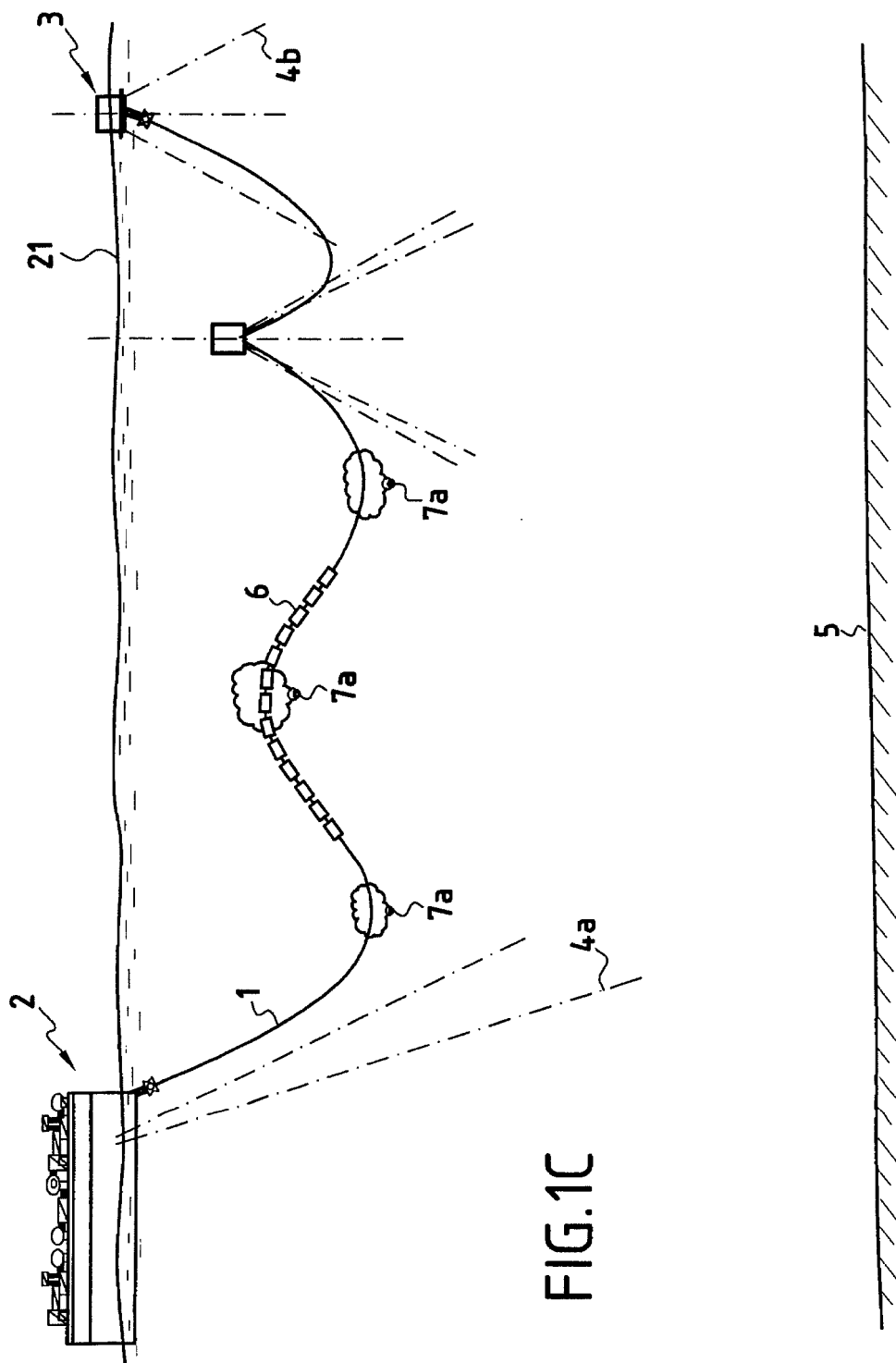
- na etapa 1), se engata a referida ligação (18) de tensionamento no fundo do mar do lado do referido suporte flutuante menos

estável, de um modo preferido uma bóia (3) de descarga e

- na etapa 3), se engata a outra referida ligação (13) de tensionamento a um referido suporte flutuante mais estável, de um modo preferido do tipo FPSO (2).









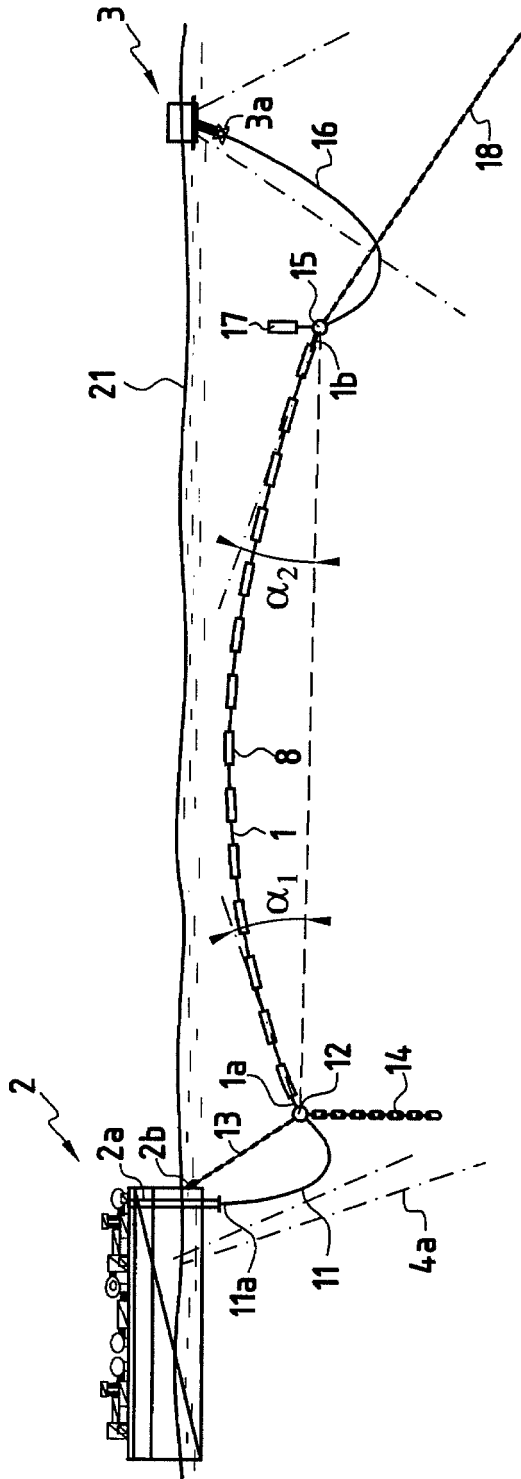


FIG. 2A



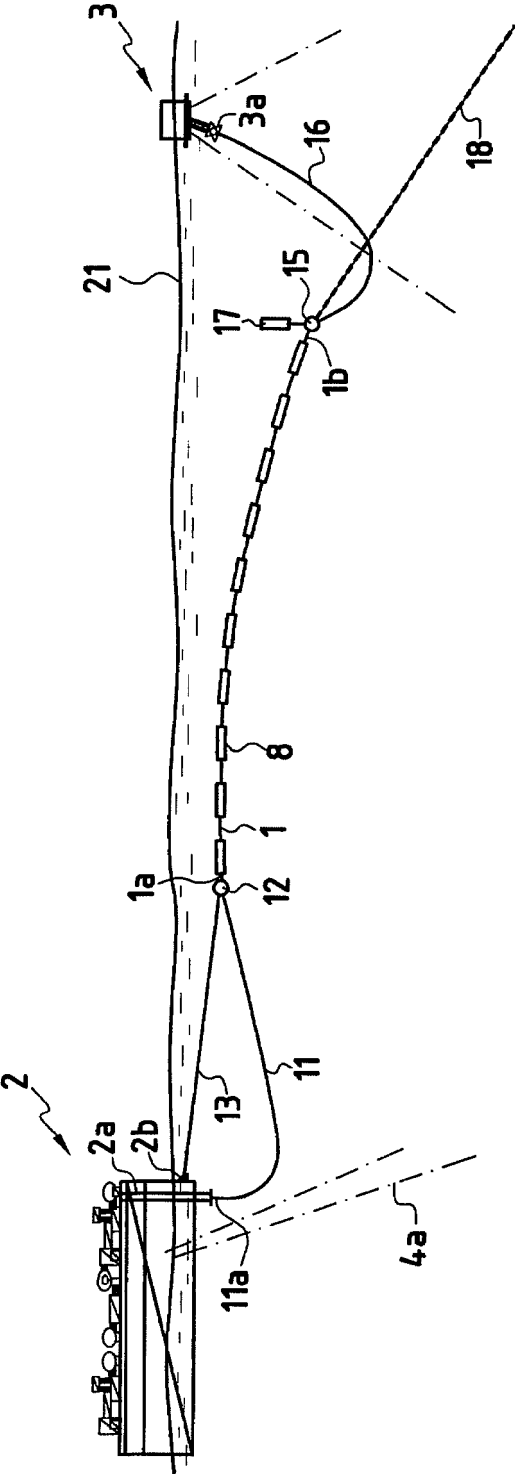
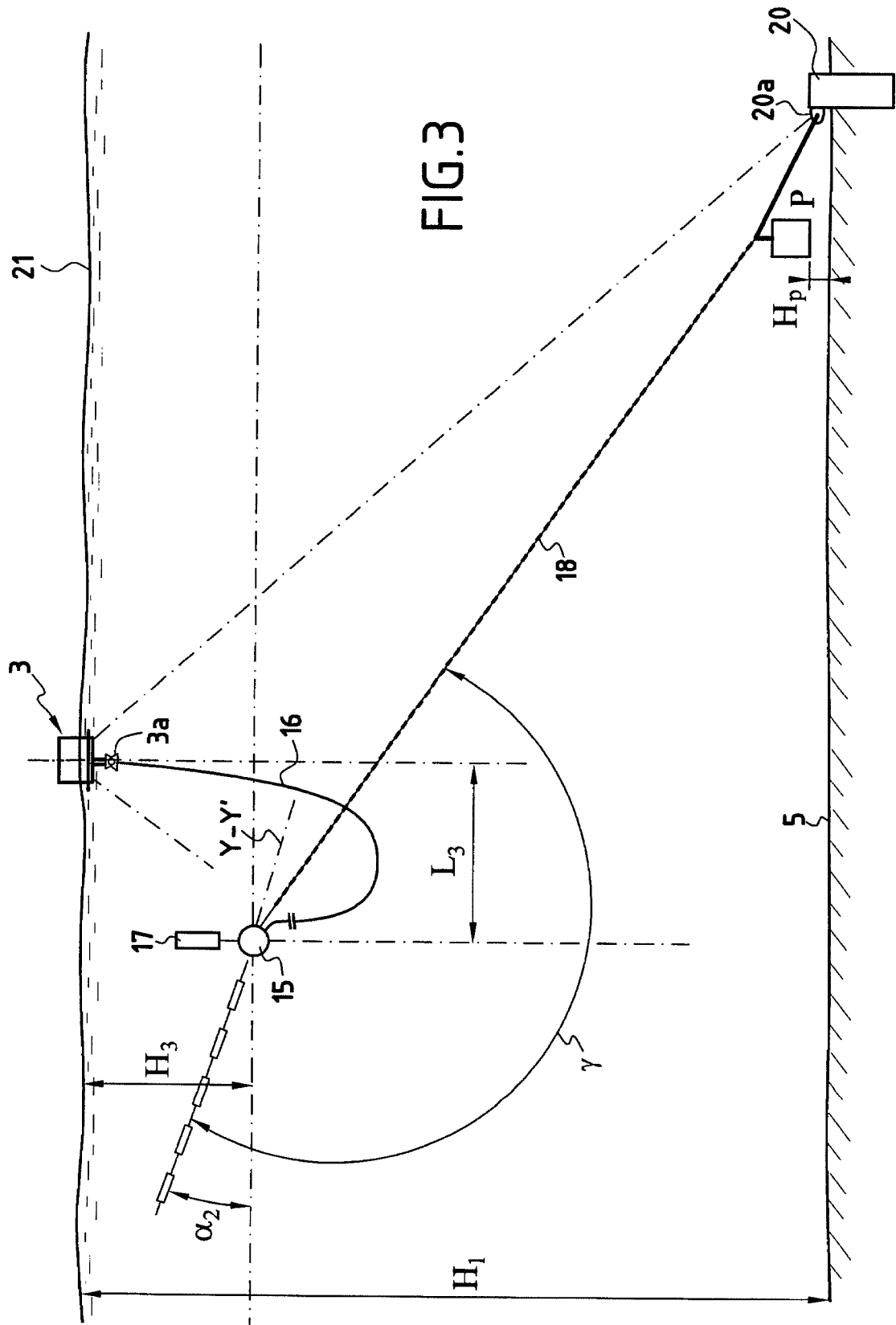


FIG. 2B





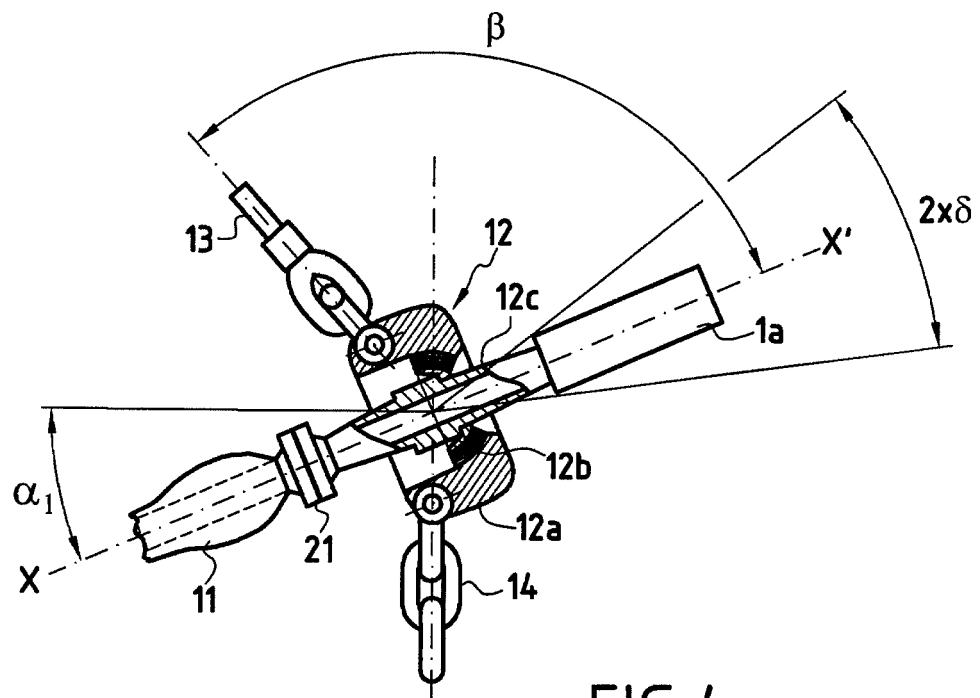


FIG. 4

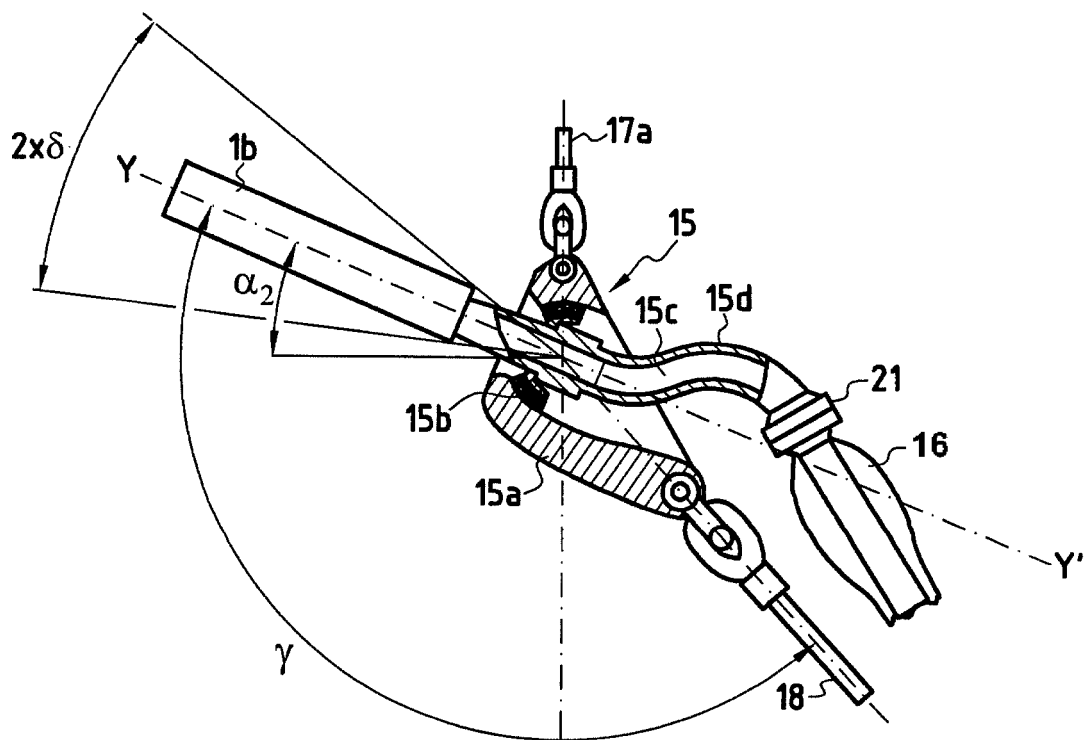


FIG. 5





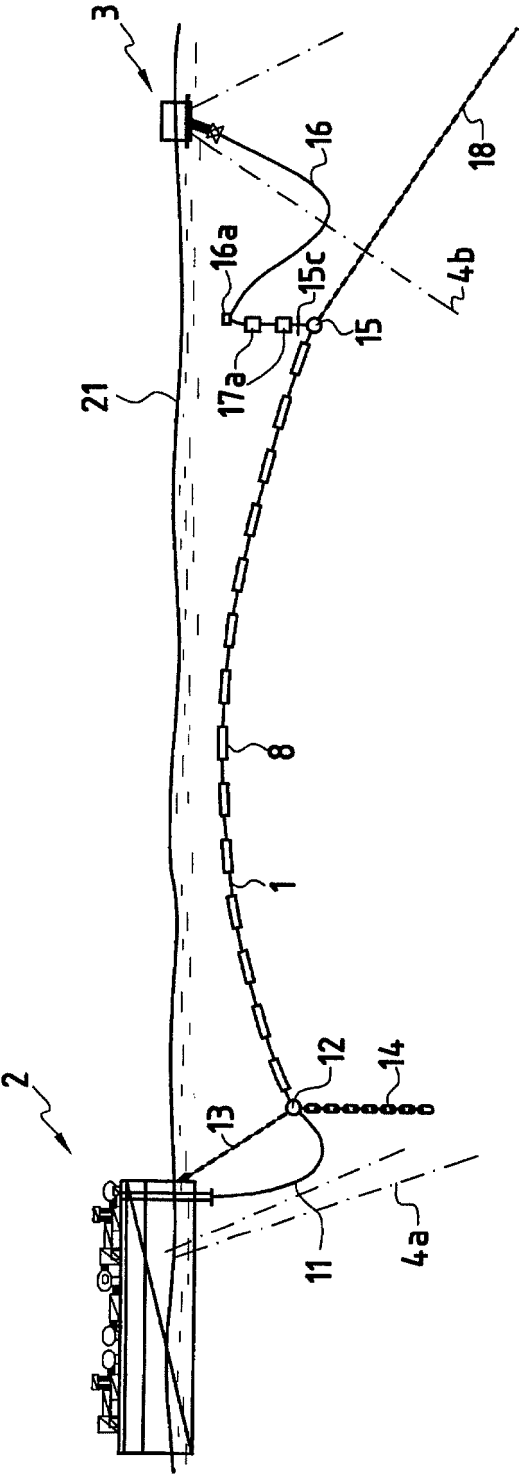


FIG.7



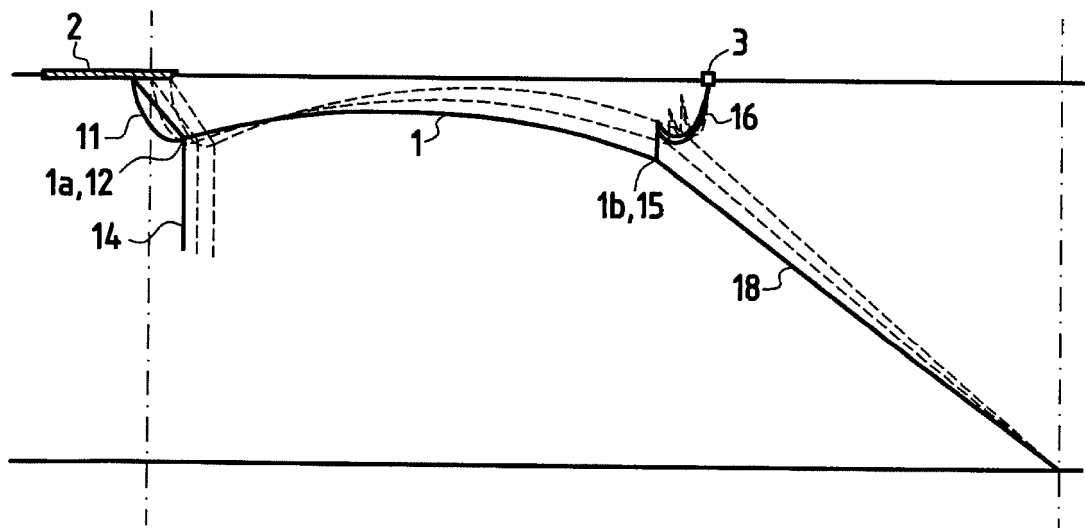


FIG. 8

