



**INPI**  
INSTITUTO NACIONAL  
DA PROPRIEDADE  
INDUSTRIAL  
Assinado  
Digitalmente

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

CARTA PATENTE Nº PI 0910535-2

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

**(21) Número do Depósito:** PI 0910535-2

**(22) Data do Depósito:** 14/04/2009

**(43) Data da Publicação Nacional:** 29/09/2015

**(51) Classificação Internacional:** E21B 43/08; E21B 43/10.

**(52) Classificação CPC:** E21B 43/088; E21B 43/103; E21B 43/108.

**(30) Prioridade Unionista:** FR 0852773 de 24/04/2008.

**(54) Título:** ELEMENTO DE CONDUTO DE TRANSIÇÃO DE INÉRCIA, CONDUTO RÍGIDO SUBMARINO E MÉTODO DE ENCAIXE RÍGIDO DA EXTREMIDADE DE UM CONDUTO RÍGIDO

**(73) Titular:** SAIPEM S.A., Sociedade Francesa. Endereço: 1/7 Avenue San Fernando, 78180 Montigny Le Bretonneux, FRANÇA(FR)

**(72) Inventor:** FRANÇOIS-RÉGIS PIONETTI.

**(87) Publicação PCT:** WO 2009/138610 de 19/11/2009

**Prazo de Validade:** 10 (dez) anos contados a partir de 05/11/2019, observadas as condições legais

**Expedida em:** 05/11/2019

Assinado digitalmente por:

**Liane Elizabeth Caldeira Lage**

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

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"ELEMENTO DE CONDUTO DE TRANSIÇÃO DE INÉRCIA, CONDUTO RÍGIDO SUBMARINO E MÉTODO DE ENCAIXE RÍGIDO DA EXTREMIDADE DE UM CONDUTO RÍGIDO"**.

5 A presente invenção refere-se a um elemento de conduto de transição de inércia, mais particularmente, destinado a ser montado na extremidade de um conduto rígido submarino, notadamente, um tubo rígido ascendente do tipo «riser» vertical.

A presente refere-se, mais particularmente, a uma instalação de colunas ascendentes («riser») de produção para a extração submarina de petróleo, de gás ou outro material solúvel ou fundível ou de uma suspensão de matéria mineral a partir de uma cabeça de poço imersa até um suporte flutuante, para o desenvolvimento de campos de produção instalados em alto-mar ao largo das costas. A aplicação principal e imediata da invenção é no domínio da produção petrolífera.

15 O suporte flutuante compreende, em geral, meios de ancoragem para permanecer em posição apesar dos efeitos das correntes, dos ventos e da ondulação. Também compreende, em geral, meios de armazenamento e tratamento do petróleo, bem como meios de descarga para petroleiros transportadores, apresentando-se estes últimos a intervalos regulares para efectuar a retirada da produção. A denominação corrente destes suportes flutuantes é o termo anglo-saxónico "Floating Production Storage Offloading" (significando "meio flutuante de armazenamento, produção e descarga") do qual utiliza-se o termo abreviado "FPSO" no conjunto da descrição seguinte.

25 Conhecem-se ligações fundo-superfície de um conduto submarino no assente no fundo do mar, ligação do tipo torre-híbrida compreendendo:

- uma riser vertical constituída por um conduto rígido em aço cuja extremidade inferior é ancorada no fundo do mar por meio de uma articulação flexível e ligada a um referido conduto assente no fundo do mar e a extremidade superior é esticada por um flutuador imerso em subsuperfície ao qual está ligada, e

30 - um conduto de ligação, em geral, um conduto de ligação flexível, entre a extremidade superior da referida riser e um suporte flutuante em

superfície, adoptando, o referido conduto de ligação flexível, se for caso disso, pelo seu próprio peso, a forma de uma curva em catenária mergulhante, ou seja, que desce largamente abaixo do flutuador para subir, seguidamente, até ao referido suporte flutuante.

5                   Conhecem-se, igualmente, ligações fundo-superfície realizadas ao fazer subir de modo contínuo, até à subsuperfície, condutos resistentes e rígidas constituídas por elementos tubulares de aço de forte espessura, soldados ou aparafusados entre si, em configuração de catenária com uma curvatura continuamente variável em todo o seu comprimento em suspensão, geralmente chamados "Steel Catenary Riser" (SCR) o que significa «riser em aço na forma de catenária» e, também, geralmente chamados «conduto rígido do tipo catenária» ou «riser do tipo SCR». Uma tal condutoconduto catenária pode subir até ao suporte flutuante em superfície ou apenas até um flutuador em subsuperfície que aplique uma tensão à sua extremidade superior, cuja extremidade superior é, então, ligada a um suporte flutuante por um conduto de ligação flexível mergulhante. As risers catenárias de configuração reforçada são descritas no documento WO 03/102350 da requerente.

20                   No documento WO 00/49267, propôs-se, com o conduto de ligação entre a riser, cuja parte superior é submetida à aplicação de tensão por um flutuador imergido em superfície e o suporte flutuante, condutos rígidos de tipo SCR e instala-se o flutuador na cabeça da riser a uma maior distância da superfície, nomeadamente a, pelo menos, 300 m da superfície, de um modo preferido, pelo menos, 500 m.

25                   No documento WO 00/49267 da requerente, descreveu-se uma torre híbrida múltipla compreendendo um sistema de ancoragem com um tendão vertical constituído quer por um cabo, quer por uma barra metálica, quer, ainda, por um conduto esticado pela sua extremidade superior por um flutuador. A extremidade inferior do tendão é fixa a uma base assente no fundo. O referido tendão compreende meios de orientação repartidos sobre 30 todos os seus comprimentos através dos quais passa uma pluralidade de referidas risers verticais. A referida base pode ser simplesmente colocada no fun-

do do mar e permanecer no lugar pelo seu próprio peso ou continuar ancorada por meio de pilhas ou qualquer outro dispositivo adaptado a mantê-la no lugar. No documento WO 00/49267, a extremidade inferior da riser vertical está apta a ser conectada à extremidade de uma manga curva, móvel, entre uma posição elevada e uma posição baixa, em relação à referida base, na qual esta manga suspensa está associada a um meio de tracção que a conduz para a posição elevada na ausência da riser. Esta mobilidade da manga curvada permite absorver as variações de comprimento da riser sob os efeitos da temperatura e da pressão. Na cabeça da riser vertical, um dispositivo de batente, solidário com esta, apoia-se sobre o guia suporte instalado na cabeça do flutuador e mantém, assim, a totalidade da riser em suspensão.

A ligação com o conduto submarino assente no fundo do mar é, em geral, efectuada por uma porção de conduto na forma de rabo de porco ou em forma de S, sendo o referido S, então, realizado em um plano, quer vertical quer horizontal, sendo a ligação com o referido conduto submarino, em geral, realizada através de um conector automático.

Esta forma de realização compreende uma multiplicidade de risers mantidas por uma estrutura central compreendendo meios de orientação é relativamente dispendiosa e complexa. Por outro lado, a instalação deve ser pré-fabricada em terra antes de ser rebocada no mar e, seguidamente, depois de chegar ao local, voltada para ser instalada. Além disso, a sua manutenção requer, igualmente, custos de exploração relativamente elevados.

Além disso, pelo fato de o petróleo bruto ser encaminhado ao longo de distâncias muito grandes, vários quilômetros, deve ser dotado com um nível de isolamento extremo dispendioso para, por um lado, minimizar o aumento de viscosidade que conduziria a uma redução da produção horária dos poços e, por outro lado, evitar o bloqueio do escoamento por depósito de parafina, ou formação de hidratos quando a temperatura desce para valores próximos de 30-40°C. Estes últimos fenómenos são ainda mais críticos, particularmente na África Ocidental, onde a temperatura do fundo do mar é

de, aproximadamente, 4°C e os petróleos brutos são de tipo parafínicos.

É, por conseguinte, desejável que as ligações fundo-superfície tenham comprimentos reduzidos e, por conseguinte, que o espaço ocupado pelas diferentes ligações ligadas a um mesmo suporte flutuante seja limitado.

É por esse motivo que se deseja proporcionar instalações aptas a explorar, desde um mesmo suporte flutuante, uma pluralidade de ligações fundo superfície de tipo torre-híbrida com um volume reduzido e mais simples de instalar e podendo ser fabricadas no mar desde um navio de instalação de conduto.

Nos documentos WO 02/066786 e WO 2003/095788, descreveram-se instalações de torres híbridas que necessitam da aplicação de articulações flexíveis entre a riser vertical e a base porque as variações angulares, geradas pelos movimentos do FPSO e pela acção da ondulação e da corrente sobre os condutos e sobre o flutuador que aplicam uma tensão à porção vertical de conduto, são importantes, atingindo 5 a 10° e estas variações impedem a utilização de uma ligação rígida embutida na referida base. Estas articulações flexíveis são muito delicadas e o seu fabrico é dispendioso porque são constituídas por empilhamentos de camadas de elastômero e de reforços em aço e devem resistir à fadiga durante toda a vida das instalações que excede 20-25 anos ou mesmo mais. Além disso, a presença do flutuador cria uma descontinuidade de tensão ao nível de peça em pescoço de cisne, na interface entre o conduto rígido sensivelmente vertical e o conduto flexível em configuração de catenária, o que prejudica a estabilidade global ao nível da referida interface e afecta a resistência mecânica da instalação.

No documento WO 02/103153, procurou-se fornecer uma instalação que pudesse ser fabricada integralmente em terra, notadamente no que se refere à montagem dos condutos rígidos assentes no fundo do mar e às risers verticais que asseguram a ligação fundo-superfície. Por outro lado, no documento WO 02/103153, procurou-se implementar uma instalação cuja colocação no fundo do mar não necessitasse de nenhuma junta flexível arti-

culada na parte inferior da torre. Para o efeito, o conduto submarina assente no fundo do mar é ligada à referida riser vertical por um elemento de conduto flexível mantido por uma base assente no fundo do mar. A união da extremidade inferior da riser vertical e da extremidade do conduto assente no fundo do mar, por intermédio do referido elemento de conduto flexível solidário e mantido pela referida base, é pré-montada em terra antes de ser rebocada no mar e depositada no fundo do mar onde a referida base é, seguidamente, ancorada. No entanto, esta forma de realização apresenta alguns inconvenientes porque este sistema de ancoragem necessita, para a fase de reboque e de querenagem, elementos de flutuabilidade consideráveis para equilibrar o peso acima da linha de flutuação da referida estrutura base, e os elementos de ligação flexíveis são submetidos a uma fadiga importante durante todo o tempo de vida das instalações que atinge e excede 25-30 anos.

Além disso, em todas as instalações descritas na técnica anterior acima mencionada, a riser vertical é esticada por um flutuador em subsuperfície e a ligação entre a riser vertical e o suporte flutuante faz-se por um conduto flexível em configuração de catenária mergulhante, cuja extremidade está ligada à extremidade superior da referida riser vertical por um dispositivo em pescoço de cisne. Este modo de ligação da extremidade superior da riser vertical com o suporte flutuante apresenta determinados inconvenientes em termos de resistência mecânica, ao nível da descontinuidade de tensão criada pela peça de ligação em pescoço de cisne e devido à aplicação de tensão à riser vertical por um flutuador muito volumoso, sendo este último submetido à acção das correntes e da ondulação, o que gera, para este tipo de ligação, variações angulares da parte superior da riser, muito importantes, reflectindo-se estas últimas na base da riser, ao nível da articulação flexível assim fortemente solicitada.

Quando se ligam condutos flexíveis sobre estruturas rígidas, tais como uma borda de FPSO ou uma plataforma de perfuração, o conduto flexível que se pode movimentar em todas as direcções, necessita de um reforço ao nível da sua ligação ao referido suporte rígido. Para esse efeito, instala-se, em geral, ao longo de um comprimento de 2 a 6 m um reforço de

rigidez variável fabricado, de um modo geral, em material termoplástico ou termoendurecível de modo a melhorar a transição de inércia entre a seção principal do conduto flexível e o seu encaixe no referido suporte rígido.

Entende-se, aqui, por "inércia", o momento de inércia do referido elemento de conduto de transição de inércia em relação a um eixo perpendicular ao eixo do referido elemento de conduto de transição de inércia, o qual reflecte a rigidez em flexão em cada um dos planos perpendiculares ao eixo XX' de simetria do referido elemento de conduto, sendo este momento de inércia proporcional ao produto da seção de matéria pelo quadrado do seu afastamento em relação ao referido eixo do elemento de conduto.

Do mesmo modo, quando se liga um conduto rígido em suspensão no mar a um suporte fixo, quer através de uma articulação flexível de elastômero ou, ainda, por um conduto flexível, o conduto rígido é equipado, em geral, com uma flange de ligação. A extremidade da conduto rígido é, então, em geral, reforçada ao longo de 1-2 m ou mesmo mais, por aumento da sua espessura, por exemplo, duplicando a referida espessura e realizando sobre um comprimento de alguns metros uma zona de transição de inércia de forma cônica. Estas peças cilindro-cônicas podem ser maquinadas sem dificuldade em tornos convencionais, mas de grande capacidade.

É possível realizar uma ligação embutida de um conduto aplicando na sua extremidade um elemento de conduto de espessura variável constituindo uma peça de transição cilindro-cônica, apresentando a referida peça:

- na extremidade mais fina, um diâmetro interno, de um modo preferido, igual ao do referido conduto e uma espessura sensivelmente igual a do referido conduto e

- na outra extremidade, um diâmetro interno, de um modo preferido, igual ao do referido conduto e uma espessura 2 a 10 vezes superior a do referido conduto.

Estas peças podem medir de 15 a 30 m de comprimento, estendendo-se a parte cilíndrica por um comprimento de 3-5 m. O fabrico destas peças é muito dispendioso porque devem ser realizadas com o auxílio de

condutos muito espessos, mas de espessuras variáveis, unidas entre si e, seguidamente, maquinadas em um torno de muito grandes dimensões para obter a forma cônica. A realização destas peças é muito dispendiosa porque, para obter um bom resultado, é necessário que o conduto montado por soldadura antes do acabamento à máquina seja perfeitamente rectilínea e, além disso, os tornos aptos a maquinar com precisão peças de 20 a 30 m de comprimento são difíceis de encontrar e têm um custo operacional muito elevado.

Em certos casos extremos, as peças de transição cilindro-cônicas não podem ser fabricadas em aço e necessitam da utilização de titânio, o que aumenta, ainda mais, o custo e a complexidade.

Em contrapartida, se pretender realizar um encaixe perfeito em uma estrutura de uma rigidez extrema, os momentos de flexão a transmitir ao nível do encaixe propriamente dito são consideráveis e necessitam de peças de transição cilindro-cônicas extremamente importantes, tanto em espessura na parte reforçada como em comprimento total.

No documento EP0911482, descreve-se uma peça de transição de inércia constituída por uma pluralidade de elementos de conduto de comprimentos crescentes e de diâmetros decrescentes, sendo o espaço anelar entre os diferentes elementos de conduto preenchido por um material de enchimento sólido.

No documento EP0911482, os espaços anelares entre os diferentes elementos de conduto coaxiais adjacentes são obturados por mangas ou virolas de aço soldadas.

Daí resultam descontinuidades na variação de inércia da peça de transição ao nível de cada orifício superior dos espaços anelares obturados pelas referidas mangas ou virolas de aço, na medida em que o material de enchimento dentro dos referidos espaços anelares é constituído por um outro material, em particular, cimento.

Durante a utilização, esta peça de transição de inércia não apresenta uma fiabilidade mecânica de encaixe suficientemente fiável devido, notadamente, a uma variação de inércia descontínua ao longo da peça, pelo

fato de a referida peça não ser uma peça de transição cilindro-cônica.

Mais precisamente, a peça de transição do documento EP0911482 apresenta, ao nível das referidas mangas ou virolas, variações consideráveis de inércia, conduzindo, assim, a fenómenos de fadiga acelerada quando a referida zona é submetida a deflexões angulares repetidas durante toda o tempo de vida das instalações, que atinge e excede 20 anos em condições difíceis. Além disso, o conjunto do dispositivo, tal como é apresentado, não é protegido contra as agressões externas, principalmente a água de mar.

10 No presente pedido, entende-se por «cilindro-cônica» uma peça cuja variação de diâmetro em seção transversal ao longo da sua direção longitudinal axial é progressiva e contínua ou seja, sem descontinuidade, aumentando continuamente desde a extremidade de menor diâmetro até à extremidade de maior diâmetro.

15 Um objetivo da presente invenção é proporcionar um novo tipo de peça de transição de inércia cilindro-cônica apta a permitir encaixe rígido da extremidade de um conduto rígida, notadamente, sobre um dispositivo de ancoragem no fundo do mar e, mais particularmente, proporcionar, assim, uma instalação que não requeira a aplicação de articulações flexíveis, notadamente na base de um conduto rígido ascendente desde o fundo do mar ou riser vertical.

20 Um outro objetivo da invenção é proporcionar uma instalação de ligação fundo-superfície com torres híbridas, de volume reduzido, de colocação simples e podendo ser fabricada no mar, desde um navio de instalação de conduto, mas cujo sistema de ancoragem tem uma grande resistência e um custo reduzido e cujos métodos de fabrico e colocação dos diferentes elementos constitutivos são simplificados e, igualmente, com custo reduzido e pode ser realizado no mar, igualmente, desde um navio de instalação.

30 Para o efeito, a presente invenção proporciona um elemento de conduto de transição de inércia compreendendo um elemento de conduto rígida principal compreendendo, em uma extremidade, uma peça de transição de inércia constituída por, pelo menos, uma, de um modo preferido, uma

pluralidade  $n$  de elementos de conduto de reforço coaxiais dispostos coaxialmente em relação ao referido elemento de conduto principal, apresentando cada referido elemento de conduto de reforço um diâmetro  $d_i$  interno superior ao diâmetro  $D_{i+1}$  externo do elemento de conduto principal e, se for caso disso, ao(s) outro(s) elemento(s) de conduto de reforço que contém(êm), sendo os diferentes elementos de conduto principal e o(s) elemento(s) de conduto de reforço posicionados com uma das suas extremidades situada no mesmo nível segundo a direcção do eixo de simetria  $Z_1Z'_1$  dos referidos elementos de conduto e apresentando cada referido elemento de conduto de reforço um comprimento  $h_i$ , com  $i = 2$  a  $n$ , inferior ao  $h_1$  do elemento de conduto principal e, se for caso disso, ao dos outros elementos de conduto de reforço  $h_{i+1}$  que contém, estando os espaços anelares  $d_i - D_{i+1}$  entre os diferentes elementos de conduto preenchidos com um material de enchimento sólido.

De acordo com a invenção, o referido espaço anelar é totalmente preenchido com um mesmo material sólido de enchimento compreendendo, de um modo preferido, um material elastômero, ainda, de um modo preferido, à base de poliuretano, apresentando uma dureza shore superior ou igual a A50, ainda de um modo preferido, de A50 a D70 e o referido elemento de transição de inércia está coberto por um material de cobertura elastômero resistente à corrosão, de um modo preferido, de tipo poliuretano, apresentando o referido elemento de conduto terminal de transição de inércia uma forma sensivelmente cilindro-cônica devido ao seu revestimento pelo referido material de cobertura.

De acordo com a presente invenção, pelo fato de o espaço anelar estar totalmente preenchido com um mesmo material de enchimento e o material de cobertura conferir uma forma cilindro-cônica à peça de transição, obtém-se uma variação contínua do diâmetro, em seção transversal, da peça e com um mesmo material de enchimento ao longo de toda a altura da peça de transição, de onde resulta uma variação de inércia progressiva e contínua, ou seja, sem descontinuidade de inércia. Além disso, a aplicação de um material de cobertura elastômero introduz uma protecção contra cor-

rosão que garante maior longevidade à referida peça de transição, a qual é submetida a uma considerável tensão mecânica e apresentaria, sem esta protecção, uma longevidade reduzida.

Compreende-se que o referido material de enchimento sólido  
5 deve apresentar uma resistência à compressão de modo a transferir os esforços de cisalhamento para o elemento de conduto de reforço de ordem superior «i+1» de modo proporcional à deformação de um referido elemento coaxial que contém, de ordem «i», sob o efeito de um esforço de flexão sofrido. Na prática, o material de enchimento sólido deve apresentar um coeficiente de Poisson de 0,3 a 0,49, de um modo preferido, de 0,4 a 0,45.  
10

Compreende-se que este tipo de elemento de condutoconduto de transição de inércia de acordo com o invenção é vantajoso pela sua simplicidade de fabrico e, por conseguinte, muito menos dispendioso que os elementos de conduto apresentando uma peça de transição de inércia cilindro-cônica com paredes de espessuras variáveis, tal como conhecido na  
15 técnica anterior.

Como será visto mais adiante, este novo tipo de elemento de conduto terminal de transição de inércia possibilita a aplicação de instalações de ligação fundo-superfície com a ancoragem de um conduto rígida  
20 ascendente por encaixe rígido sobre uma base colocada no fundo do mar, ou seja, sem recorrer a uma articulação flexível, notadamente de tipo rótula esférica flexível.

Este elastômero pode ser poliuretano ou borracha, sozinho ou em combinação com uma carga mineral, tal como areia.

25 Em uma variante de realização, o material sólido de enchimento apresenta-se sob a forma de um ligante hidráulico, tal como cimento, eventualmente carregado com material particulado, de um modo preferido, areia.

De um modo preferido, por razões práticas de fabrico e de custo, mas também para aumentar a flexibilidade da peça de transição e, por conseguinte, a sua longevidade, o referido material de cobertura e o referido  
30 material de enchimento compreendem um mesmo material elastômero, de um modo preferido, à base de poliuretano.

Ainda, de um modo preferido, o referido material sólido de enchimento compreende um poliuretano de dureza shore A90 ou A95.

Em uma outra variante de realização, o material sólido de enchimento compreende um elastômero carregado com material particulado, de um modo preferido, areia.

De acordo com outras características mais específicas de um elemento de conduto de transição de inércia de acordo com a presente invenção:

- a diferença entre o diâmetro  $d_1$  interno do referido elemento de conduto principal e o diâmetro  $D_4$  externo do referido elemento de conduto de reforço de maior diâmetro é igual a 3 a 10 vezes a espessura do referido elemento de conduto principal e o número dos referidos elementos de reforço coaxiais é  $n = 2$  a 4, e

- a diferença de comprimento entre os diferentes elementos de conduto de reforço coaxiais  $h_i - h_{i+1}$  é sensivelmente constante e igual a  $(h_i \times \frac{1}{n})$  e

- o espaço anelar entre dois dos referidos elementos de conduto  $D_{i+1} - d_i$  é superior ou igual à espessura do referido elemento de conduto de menor espessura e inferior ou igual a duas vezes a espessura do referido elemento de conduto de maior espessura que delimita o referido espaço anelar, e

- o comprimento do referido elemento de conduto principal é de 10 a 50 m, de um modo preferido, de 20 a 30 m e compreende 2 ou 3 dos referidos elementos de reforço coaxiais.

Por outras palavras, compreende-se que a diferença de altura, passo a passo, entre um elemento de conduto coaxial e o outro que o contém ou que ele cobre é sensivelmente constante.

Em uma forma de realização específica, os diferentes elementos de conduto principal e conduto de reforço coaxiais são fixos a uma mesma placa inferior constituída por uma primeira flange de fixação apta a permitir a sua ligação estanque a uma segunda flange de fixação na extremidade de um elemento de conduto rígido terminal de um outro conduto rígido.

De um modo preferido, os referidos elementos de conduto principal e elementos de conduto de reforços coaxiais são constituídos, cada, pela totalidade ou parte de um elemento unitário de conduto convencional, notadamente conduto submarino em aço, ou constituídos, cada, por vários elementos unitários de conduto convencional montados topo a topo e, de um modo preferido, mantidos coaxialmente por cunhas 18 de centragem repartidas regularmente ao longo da sua direção longitudinal e sobre a seção circular nos seus espaços anelares.

A presente invenção proporciona, igualmente, um conduto rígido submarino, de um modo preferido, uma conduto de ligação fundo-superfície, compreendendo, em uma das suas extremidades, um referido elemento de conduto de transição de inércia, apresentando o referido elemento de conduto principal, de um modo preferido, uma espessura superior ou igual a do referido conduto rígido submarino e um diâmetro interno sensivelmente idêntico.

Mais particularmente, a conduto de acordo com a invenção, para a sua ligação, tem um equipamento de rigidez superior a do referido conduto rígido.

Mais particularmente ainda, o referido equipamento de rigidez superior é constituído por um elemento de ligação de conduto compreendendo, de um modo preferido, uma flange de fixação, estando o referido equipamento situado ao nível de uma base assente no fundo do mar ou de uma borda de um suporte flutuante ou de uma boia em superfície ou subsuperfície.

A presente invenção proporciona, igualmente, uma instalação de ligação fundo-superfície, notadamente a grande profundidade superior a 1000 m, compreendendo:

a) pelo menos, um conduto rígido compreendendo, em uma extremidade, um elemento de transição de inércia de acordo com a invenção, sendo o referido conduto rígido um conduto ascendente, sensivelmente vertical, designada riser vertical, fixa na sua extremidade inferior a um dispositivo de ancoragem no fundo de mar, e

b) pelo menos, um conduto de ligação flexível que assegura a ligação entre um suporte flutuante e a extremidade superior da referida riser vertical, caracterizada por:

5 1/ uma extremidade do referido conduto flexível ser conectado diretamente, de um modo preferido, por um sistema de flanges, na extremidade superior da referida riser vertical, uma parte terminal do conduto flexível, no lado da sua junção à extremidade superior da referida riser, apresentar uma flutuabilidade positiva e, pelo menos, a parte superior da referida riser vertical apresentar, igualmente, uma flutuabilidade positiva, de modo  
10 que as flutuabilidades positivas da referida parte terminal do conduto flexível e da referida parte superior da referida riser vertical permitem a aplicação de tensão à referida riser em uma posição sensivelmente vertical e o alinhamento ou a continuidade de curvatura entre a extremidade da referida parte terminal do conduto flexível e a parte superior da referida riser vertical ao  
15 nível da sua ligação, e

2/ a extremidade inferior da referida riser vertical compreende um referido elemento de conduto terminal que forma uma peça de transição de inércia cuja variação da inércia é tal que a inércia do referido elemento de conduto terminal, na sua extremidade superior, é sensivelmente idêntica a  
20 do elemento de conduto da seção principal da riser vertical à qual está ligada, aumentando a referida inércia do elemento de conduto terminal, progressivamente, até à extremidade inferior da referida peça de transição de inércia, compreendendo uma primeira flange de fixação que permite o encaixe da extremidade inferior da referida riser vertical ao nível do referido dispositivo  
25 de ancoragem no fundo do mar.

Utiliza-se, aqui, o termo "riser vertical" para dar conta da posição teórica da riser quando esta está em repouso, devendo compreender-se que o eixo da riser pode apresentar movimentos angulares em relação à vertical e deslocar-se segundo um cone de ângulo  $\alpha$  cujo vértice corresponde ao  
30 ponto de fixação da extremidade inferior da riser na referida base.

Entende-se por "continuidade de curvatura" entre a extremidade superior da riser vertical e a parte flexível apresentando uma flutuabilidade

positiva, que a referida variação de curvatura não apresenta ponto singular, tal como uma variação brusca do ângulo de inclinação da sua tangente ou um ponto de inflexão.

De um modo preferido, a inclinação da curva formada pelo con-  
5 duto flexível é tal que a inclinação da sua tangente em relação ao eixo  $Z_1Z'_1$   
da parte superior da referida riser vertical aumenta contínua e progressiva-  
mente desde o ponto de ligação entre a extremidade superior da riser verti-  
cal e a extremidade da referida parte terminal de conduto flexível de flutuabi-  
lidade positiva, sem ponto de inflexão e sem ponto de inversão de curvatura.

10 A instalação, de acordo com a presente invenção permite, por  
consequente, evitar a aplicação de tensão à riser vertical por um flutuador em  
superfície ou subsuperfície, no qual a sua extremidade superior estaria sus-  
pensa, por um lado e, por outro lado, evitar a ligação a referido conduto fle-  
xível mergulhante através de um dispositivo de pescoço de cisne, tal como  
15 existente na técnica anterior. Daí resulta não somente uma maior fiabilidade  
intrínseca em termos de resistência mecânica no tempo da ligação entre a  
riser vertical e o conduto flexível, porque os dispositivos de tipo pescoço de  
cisne são frágeis, mas, sobretudo, este tipo de instalação confere uma esta-  
bilidade acrescida em termos de variação angular ( $\gamma$ ) do ângulo de excursão  
20 da extremidade superior da riser vertical em relação a uma posição teórica  
de repouso vertical, porque esta variação angular é reduzida, na prática, a  
um ângulo máximo que não excede  $5^\circ$ , na prática, aproximadamente  $1$  a  $4^\circ$   
com a instalação de acordo com a invenção, enquanto nas formas de reali-  
zação da técnica anterior, a excursão angular podia atingir  $5$  a  $10^\circ$  ou mes-  
25 mo mais.

Outra vantagem da presente invenção deriva do fato de, devido  
a esta reduzida variação angular da extremidade superior da riser vertical,  
ser possível realizar, ao nível da sua extremidade inferior, um encaixe rígido  
sobre uma base assente no fundo do mar, sem recorrer a uma peça de tran-  
sição de inércia de dimensão demasiado considerável e, por consequente,  
30 demasiado dispendiosa. É, por consequente, possível evitar a aplicação de  
uma articulação flexível, notadamente do tipo rótula esférica flexível, na me-

dida em que a junção entre a extremidade inferior da riser e o referido encaixe compreende uma peça de transição de inércia.

As fluuabilidades positivas da riser e do conduto flexível podem ser introduzidas de modo conhecido por flutuadores periféricos coaxiais envolvendo aos referidos condutos ou, de um modo preferido, tratando-se do conduto rígido da riser vertical, por um revestimento de material de fluuabilidade positiva constituindo, de um modo preferido e igualmente, um material isolante, tal como espuma sintáctica, sob a forma de um invólucro envolvendo o referido conduto. Estes elementos de fluuabilidade resistentes a pressões muito fortes, ou seja, a pressões de cerca de 10MPa por fração de 1000 m de água, são conhecidos pelo especialista na técnica e são disponibilizados pela Firma BALMORAL (UK).

Mais particularmente, o referido conduto flexível apresenta uma fluuabilidade positiva sobre um comprimento que corresponde de 30 a 60% do seu comprimento total, de um modo preferido, cerca de metade do comprimento total do conduto flexível, pelo que o conduto flexível apresenta uma configuração em S, com uma primeira porção de conduto flexível do lado do suporte flutuante uma curvatura côncava de catenária com configuração de catenária mergulhante e apresentando a porção terminal restante do referido conduto flexível uma curvatura convexa de catenária invertida devido à sua fluuabilidade positiva, estando a extremidade da referida porção terminal de conduto flexível, ao nível da extremidade superior da referida riser, situada por cima e, sensivelmente, no alinhamento do eixo  $Z_1Z'_1$  da referida riser na sua extremidade superior.

A parte de conduto flexível mergulhante, ou seja, de fluuabilidade negativa poderá ser tanto mais curta quanto a ancoragem do suporte flutuante em superfície será rígida.

Em uma forma de realização preferida de uma instalação de ligação fundo-superfície, esta compreende as características seguintes, de acordo com as quais:

- a referida riser vertical está ligada, pela sua extremidade inferior, a, pelo menos, um conduto assente no fundo do mar, e

- o referido dispositivo de ancoragem compreende um dispositivo de suporte e de conexão fixo a uma base colocada e ancorada no fundo do mar, e

5 - o referido conduto assente no fundo do mar compreende um primeiro elemento de conduto rígido terminal solidário com a referida base assente no fundo do mar e o referido primeiro elemento de conduto terminal é mantido firmemente em relação à referida base, com, na sua extremidade, uma primeira parte de elemento de conexão, de um modo preferido, um elemento macho ou fêmea de um conector automático, e

10 - a referida primeira flange de fixação na extremidade inferior da referida peça de transição de inércia está fixa a uma segunda flange de fixação na extremidade de um segundo elemento de conduto rígido curvo, solidário com o referido dispositivo de suporte e de conexão fixo na referida base e suportando, de modo fixo e rígido, o referido segundo elemento de conduto rígido curvo, cuja outra extremidade compreende uma segunda parte de elemento de conexão complementar da referida primeira parte de elemento de conexão e conectada a esta quando o referido elemento de suporte e de conexão é fixo à referida base.

20 Compreende-se que a geometria estática do referido primeiro elemento de conduto rígido na terminação do referido conduto assente no fundo do mar, em relação à referida base e a geometria estática do referido segundo elemento de conduto rígido curvo, em relação ao referido dispositivo de suporte e ligação fixo à referida base, permitem posicionar as extremidades respectivas dos referidos, primeiro e segundo, elementos de condutos  
25 rígidos, de modo a facilitar a ligação das partes complementares de conectores automáticos depois de o dispositivo de suporte e ligação estar fixo na referida base.

Ainda, de um modo preferido, a instalação de ligação fundo-superfície apresenta as características segundo as quais:

30 - a referida base é ancorada no fundo do mar por um primeiro pilar tubular que passa através de um orifício que atravessa a referida base, sendo o referido primeiro pilar enfiado no solo no fundo do mar e cooperan-

do a sua parte superior com a base de modo a permitir a ancoragem da referida base, e

- o referido dispositivo de suporte e ligação suportando o referido segundo elemento de conduto rígido curvo compreende um segundo pilar tubular, designado inserção tubular de ancoragem, inserido dentro do referido primeiro pilar tubular de ancoragem da referida base, compreendendo, a

5    referida base, um dispositivo de bloqueio que retém a referida inserção tubular de ancoragem dentro do referido primeiro pilar tubular no caso de tração do referido segundo pilar tubular para cima.

10        De um modo preferido, os referidos, primeiro e segundo, pilares são uniões de elementos unitários convencionais de condutos rígidas ou porções de elemento unitário de condutos rígidas, sendo o referido segundo pilar mais curto que o referido primeiro pilar.

15        Este sistema de ancoragem da base e fixação do referido dispositivo de suporte e de ligação à extremidade inferior da referida peça de transição de inércia sobre a referida base é, particularmente, vantajoso pelas razões seguintes.

20        Em primeiro lugar, a combinação do primeiro pilar e inserção tubular de ancoragem constitui um sistema de orientação, que permite fazer coincidir as referidas primeiras partes de elemento de ligação e segunda parte de elemento de ligação com as extremidades, por um lado, do elemento de conduto terminal do conduto assente no fundo do mar que está posicionado firmemente em relação à referida base e, por outro lado, da extremidade do referido elemento de conduto rígido posicionado firmemente em relação

25        ao referido dispositivo de suporte.

30        Os esforços transversais ou esforços de cisalhamento que resultam do momento de flexão que se produz ao nível do fundo do mar, ao nível do encaixe da extremidade inferior da riser vertical ao nível da referida base, resultante das variações angulares da riser na sua extremidade superior, não são transmitidos à referida base, mas ao referido primeiro pilar de ancoragem, o qual se estende profundamente no fundo do mar por um comprimento de 30 a 70 m. Assim, é possível realizar uma referida base de volume

e peso relativamente reduzidos, o que permite poder descê-la de um modo relativamente fácil desde a superfície, integralmente com o referido primeiro elemento de conduto terminal do conduto assente no fundo do mar.

Mais particularmente, a referida inserção tubular de ancoragem  
5 é posicionada no eixo da referida peça de transição de inércia e o referido segundo elemento de conduto rígido suportado pelo referido dispositivo de suporte e de ligação é arqueado ou curvo, de modo a que a referida primeira parte de elemento de ligação do tipo conector automático esteja separada lateralmente do resto do referido dispositivo de suporte e de ligação e a refe-  
10 rida segunda parte de elemento de ligação do tipo conector automático, na extremidade do referido primeiro elemento de conduto rígido terminal da referido conduto assente no fundo do mar, solidária com a referida base, esteja igualmente separada do orifício da referida base e do referido dispositivo de suporte e ligação cuja referida inserção de ancoragem está inserida dentro do referido primeiro pilar de ancoragem.  
15

Nesta forma de realização, o referido primeiro elemento de conduto terminal da referida conduto assente no fundo do mar pode, de um modo preferido, ser igualmente curvo para coincidir correctamente com a extremidade do referido segundo elemento de conduto rígido curvo e permitir  
20 uma ligação fácil por um autómato submarino de tipo ROV no fundo do mar.

A presente invenção proporciona, por conseguinte e igualmente, um método de colocação no fundo do mar de uma instalação de ligação fundo-superfície de acordo com a invenção, compreendendo as etapas sucessivas seguintes nas quais:

25 1/ desce-se, até ao fundo do mar, um referido dispositivo de ancoragem, e

2/- desce-se um conduto rígido constituindo uma riser vertical, diretamente fixa, na sua extremidade superior, a uma extremidade do referido conduto flexível apresentando uma porção terminal de flutuabilidade positiva, sendo a outra extremidade do referido conduto flexível suspensa por um  
30 flutuador em subsuperfície, e

3/- fixa-se a extremidade inferior da referida peça de transição

por encaixe ao nível do referido dispositivo de ancoragem, e

4/- desloca-se a extremidade d referido conduto flexível suspensa no referido flutuador e fixa-se ou liga-se a mesma a um referido suporte flutuante.

5 De um modo preferido, um método de colocação de uma instalação de ligação fundo-superfície de acordo com a invenção, compreende as etapas sucessivas seguintes, nas quais:

10 1/- desce-se, até ao fundo do mar, uma referida base solidária com um referido primeiro elemento de conduto rígido, compreendendo a referida base um orifício de passagem, e

2/- desce-se até ao fundo do mar um referido primeiro pilar tubular de ancoragem que se enfia no fundo do mar através do referido orifício da base, para ancorar a referida base no fundo do mar, e

15 3/- desce-se até ao fundo do mar, desde um navio de superfície, o referido conduto rígido constituindo a referida riser vertical, diretamente fixa, na sua extremidade superior, a um referido conduto flexível, sendo a referida peça de transição, na extremidade inferior da referida riser, fixa a um referido dispositivo de suporte e de ligação, suportando um referido segundo elemento de conduto rígido curvo, bem como uma referida inserção de ancoragem, e

20 4/- fixa-se o referido dispositivo de suporte e de ligação à referida base inserindo a referida inserção de ancoragem dentro do referido primeiro pilar tubular, e

25 5/- de um modo preferido, bloqueia-se a referida inserção de ancoragem dentro do referido primeiro pilar tubular através de um dispositivo de bloqueio, e

6/- realiza-se a ligação dos referidos primeiro elemento de conduto rígido curvo e segundo elemento de conduto rígido curvo, e

30 7/- termina-se a descida do referido conduto flexível apresentando uma porção terminal de flutuabilidade positiva, com a outra extremidade do referido conduto flexível suspensa num flutuador em subsuperfície, e

8/- desloca-se e, seguidamente, fixa-se ou liga-se a outra extre-

midade do referido conduto flexível a um referido suporte flutuante.

Este método, de acordo com a invenção, é particularmente simples e, por conseguinte, vantajoso em termos de colocação. Esta simplicidade resulta do fato de a função de ancoragem na referida base ser satisfeita  
5 pela referida inserção de ancoragem, na face inferior do referido dispositivo de suporte e de ligação, e por os momentos de flexão sofridos pela peça de transição de inércia serem absorvidos pelo primeiro pilar de ancoragem enfiado no fundo do mar e não pela referida base, de modo que é possível utilizar uma base com um peso e volume relativamente reduzidos.

10 Outras características e vantagens da presente invenção surgirão melhor à luz da descrição pormenorizada que se segue, feita de modo ilustrativo e não limitativo e recorrendo aos desenhos, nos quais:

- a figura 1 é uma vista lateral de uma instalação 1 de ligação fundo-superfície de acordo com a invenção, compreendendo um conduto 9  
15 rígida de tipo riser encaixada, na parte baixa, num primeiro pilar 6 que atravessa uma base 4 e ligada, na sua extremidade 9b superior, a um conduto 10 flexível flutuante sobre uma parte 10a terminal do seu comprimento, estando a outra extremidade do conduto ligado a um FPSO 12 ("Floating Production Storage Offloading"),

20 - a figura 2A é uma vista lateral da instalação 1 de ligação fundo-superfície na sua base durante a colocação a partir de um navio 20 de trabalho,

- a figura 2B é uma vista lateral da colocação de um referido primeiro pilar 6 de ancoragem em uma base que suporta a extremidade de  
25 um conduto submarino assente no fundo do mar,

- a figura 2C é uma vista lateral da extremidade inferior da riser 9 com uma peça 8 de transição de inércia ao nível da sua ligação com um dispositivo 5 de suporte e de ligação compreendendo uma inserção 5e tubular de ancoragem dentro do referido pilar 6 de ancoragem,

30 - a figura 3 é uma vista lateral da instalação da ligação fundo-superfície, durante a colocação, após engate da inserção 5e de ancoragem no pilar 6 de ancoragem,

- as figuras 3A e 3B representam, em vista lateral e em corte, duas variantes de base da ligação a um conduto assente no fundo do mar de uma instalação de ligação fundo-superfície de acordo com a invenção,

- a figura 4 é uma vista em corte e em vista lateral de uma peça 8 de transição maciça em aço, de forma cônica, instalada na extremidade inferior da riser 9,

- as figuras 5A-5B-5C são vistas em corte e em vista lateral de uma versão preferida de realização de uma peça de transição constituída por empilhamentos de condutos de aço coaxiais, estando os interstícios preenchidos com materiais plásticos nas figuras 5B e 5C,

- a figura 6 é um diagrama que ilustra a variação da inércia das peças de transição de acordo com a figura 5C.

- a figura 7 é uma vista lateral de uma ligação em subsuperfície, com uma configuração em W, entre um FPSO e uma boia de descarga, compreendendo, em cada das suas extremidades, uma peça de transição de acordo com a invenção.

Na figura 7, representou-se, em vista lateral, um FPSO 12 ligado a uma boia 12b de descarga por um conduto de evacuação de petróleo 12c bruto constituído por um conduto rígido em aço de grande diâmetro, estando o referido conduto em aço equipada, em cada das suas extremidades, com uma peça 8 de transição de acordo com a invenção. Estas peças 8 de transição são, de um modo vantajoso, utilizadas nas extremidades de condutos 12c rígidas dado que estão solidarizadas com um elemento 13 de ligação de conduto compreendendo, de um modo preferido, uma flange de fixação ou qualquer outro equipamento de rigidez superior a do conduto 12c rígido.

Na figura 1, representou-se uma instalação 1 de ligação fundo-superfície que liga um conduto 2 submarino assente no fundo 3 do mar a um suporte 12 flutuante de tipo FPSO em superfície amarrado por linhas 12a de âncora.

Uma instalação de acordo com a invenção compreende, desde o suporte 12 em superfície até à uma base 4 no fundo do mar, os elementos seguintes:

a) um conduto 10 flexível, compreendendo uma primeira parte 10b côncava que se estende desde a extremidade 10e do conduto flexível fixa ao suporte 12 flutuante até cerca de metade do conduto flexível, sob a forma de uma configuração em catenária mergulhante devida à sua flutuabilidade negativa, até um ponto de inflexão em 10d sensivelmente a metade de comprimento do conduto flexível, estendendo-se a parte 10a terminal desde o ponto 10d central de inflexão até à extremidade 10c do conduto flexível apresentando uma flutuabilidade positiva devido a uma pluralidade de flutuadores 10f, de um modo preferido, regularmente espaçados ao longo e em torno da referida porção 10a terminal de conduto flexível, e

b) um conduto 9 rígido ascendente de aço ou «riser vertical» equipada com meios de flutuabilidade, não representados, tais como semi-involúcros de espuma sintática repartidos, de um modo preferido, uniformemente sobre a totalidade ou parte do comprimento do referido conduto rígido e compreendendo, na sua extremidade inferior, uma peça 8 de transição de inércia equipada com uma primeira flange 9a de fixação na sua extremidade inferior. A primeira flange 9a de fixação é fixa a uma segunda flange 5a de fixação que constitui a parte superior de um dispositivo 5 de suporte e ligação, este mesmo ancorado a um primeiro pilar 6 solidário com a base 4 assente no fundo do mar, permitindo o referido dispositivo 5 de suporte e ligação a ligação da extremidade inferior da riser 9 a um conduto 2 assente no fundo do mar, como explicado a seguir.

O conduto flexível apresenta uma variação de curvatura contínua, em primeiro lugar côncava, na parte 10b com configuração de catenária mergulhante e, seguidamente, convexa na porção 10a terminal de flutuabilidade positiva com um ponto 10d de inflexão entre as duas, formando, assim, um S disposto em um plano sensivelmente vertical.

Em operação, tal como representado na figura 1, quando a parte superior do conduto 9 rígida está inclinada com uma inclinação  $\gamma$  em relação à vertical  $ZZ'$ , a extremidade 10c da porção 10a terminal da flutuabilidade positiva do conduto flexível permanece sensivelmente no alinhamento axial  $Z'_1Z'$  da extremidade 9b superior do conduto 9 rígido e, em qualquer dos

casos, em continuidade de variação de curvatura com esta. Isto confere uma melhor resistência mecânica à fixação 11 estanque entre os dois condutos e permite evitar a aplicação de um dispositivo pescoço de cisne, tal como posto em prática na técnica anterior.

5 O interesse deste conduto flexível é permitir, devido à sua porção 10b inicial mergulhante, amortecer as excursões dos suportes 12 flutuantes de forma a estabilizar a extremidade 10c do conduto flexível ligado a uma conduto rígido ascendente da riser 1 vertical.

10 A extremidade da porção da parte 10c terminal flutuante do conduto flexível possui um primeiro elemento 11 de flange de fixação com a extremidade superior de um conduto rígido estendendo-se desde o fundo do mar encaixada ao nível de uma base 4 assente no fundo do mar.

15 A riser 9 vertical é «esticada», por um lado, pela fluabilidade da parte 10a terminal do conduto flexível, mas, por outro lado e sobretudo, por flutuadores regularmente repartidos, pelo menos, sobre a parte 9b superior, de um modo preferido, ao longo de todo o conduto rígido, notadamente sob a forma de espuma sintáctica que serve, de um modo vantajoso e ao mesmo tempo, como sistema de isolamento e de fluabilidade. Estes flutuadores e esta espuma sintáctica podem ser repartidos ao longo e em torno  
20 do conduto rígido sobre todo o seu comprimento ou, de um modo preferido, apenas sobre uma porção da sua parte superior.

Assim, se a base 4 se encontrar a uma profundidade de 2500 metros, a cobertura do conduto 1 rígida de espuma sintáctica pode limitar-se a um comprimento de 1000 m a partir da sua extremidade superior, o que  
25 permite utilizar uma espuma sintáctica que deve resistir a uma pressão inferior à que existiria se tivesse que resistir a pressões que vão até 2500 m e, por conseguinte, tendo um custo radicalmente reduzido em relação a uma espuma sintáctica devendo resistir à referida profundidade de 2500 m.

30 O conduto 1 rígido, de acordo com a invenção, é, por conseguinte, «esticada» sem aplicação de um flutuador em superfície ou subsuperfície, como na técnica anterior, o que limita os efeitos da corrente e da ondulação e, consequentemente, reduz radicalmente a excursão da parte elevada

da riser vertical e, por conseguinte, os esforços na base da riser ao nível do encaixe.

O sistema de flange 11 de fixação entre a extremidade superior da riser 9 vertical e o conduto 10 flexível e a ligação das flanges 9a, 5a de  
5 fixação entre a extremidade inferior na peça 8 de transição de inércia e o dispositivo 5 de suporte de ligação, dão origem a ligações estanques entre os condutos em causa.

A base 4 assente no fundo do mar suporta um primeiro elemento  
10 2a de conduto terminal curvo ou arqueado do referido conduto assente no fundo 2 do mar. Este primeiro elemento 2a de conduto terminal curvo ou arqueado compreende, na sua extremidade, uma primeira parte macho ou fêmea de um conector 7b automático, que está separada, lateralmente, em relação a um orifício 4a de passagem da referida base, mas posicionada de modo fixo e determinado em relação ao eixo ZZ' do referido orifício.

15 O dispositivo 5 de suporte e de ligação suporta um segundo elemento 5b de conduto rígido curvo compreendendo, na sua extremidade superior, a referida segunda flange 5a de fixação e, na sua extremidade inferior, uma segunda parte fêmea ou macho de um conector automático 7a, complementar da parte 7b.

20 Um primeiro pilar 6 tubular de ancoragem é descido desde um navio 20 de instalação em superfície e, seguidamente, enfiado, de um modo preferido, por meio de pancadas aplicadas de modo conhecido, através de um orifício 4a que atravessa verticalmente, de um lado ao outro, a base 4 até que uma excrescência 6a periférica na extremidade superior do referido  
25 primeiro pilar 6 coopere com uma forma 4c complementar na parte superior do referido orifício 4a da base. O orifício 4a é ligeiramente maior que o primeiro pilar 6 para o deixar deslizar livremente. E, quando a aplicação de pancadas ao primeiro pilar é terminada, a base 4 encontra-se, assim, pregada ao solo sem se poder deslocar lateralmente, nem girar em torno de um  
30 qualquer eixo horizontal.

Eventualmente, prevê-se uma pluralidade de orifícios e de referidos primeiros pilares 6.

No método de colocação de uma instalação de ligação fundo-superfície de acordo com a invenção, a primeira etapa consiste em fazer descer até ao fundo do mar, desde a superfície, a referida base equipada com o referido primeiro elemento 2a de conduto terminal do conduto assente no fundo do mar. Após ancoragem da referida base por um referido primeiro pilar 6, realiza-se a ancoragem da peça 8 de transição na extremidade inferior da riser vertical por fixação sobre o dispositivo 5 de suporte e ligação, ele mesmo ancorado na referida base, formando, assim, um encaixe rígido da extremidade inferior da riser vertical.

O dispositivo 5 de suporte e de ligação é constituído por elementos 5c de estrutura rígida e de reforço que suportam a referida segunda flange 5a de fixação e o referido segundo elemento 5b de conduto rígido curvo, assegurando os referidos elementos 5c de estrutura rígida, igualmente, a ligação entre a referida segunda flange 5a de fixação e uma placa 5d inferior que suporta, na face inferior, um segundo pilar 5e tubular designado inserção tubular de ancoragem.

Quando a base 4 é ancorada no fundo 3 do mar, como representado na figura 2A, fabricam-se, a bordo do navio 20 de superfície, os diversos elementos de ligação fundo-superfície, notadamente, a união de troços constituídos por uma pluralidade de elementos de condutos convencionais, que são progressivamente descidos. Desce-se, em primeiro lugar, o referido dispositivo 5 conectado de modo estanque à extremidade inferior da riser 9 vertical através da peça 8 de transição cônica 8 e, seguidamente, a integralidade da riser vertical equipada com os seus elementos de flutuabilidade e, por último, o conduto de ligação flexível equipada com os seus elementos de flutuabilidade fixa na continuidade directa da extremidade superior da riser 9 vertical.

A montagem e a instalação do conduto 9 rígido faz-se de modo clássico, desde o navio 20, por união de elementos de condutos unitários ou troços de elementos unitários armazenados no navio 20 de superfície e descidos progressivamente de acordo com uma técnica conhecida do especialista na técnica e descrita, notadamente, em pedidos de patentes anteriores

em nome da requerente, a partir de um navio de instalação em J.

Quando a integralidade do conduto 9 rígido foi fabricado e des-  
cida até ao fundo do mar, liga-se, de modo conhecido, por exemplo, através  
de flanges 11, a extremidade superior do conduto 9 à extremidade de um  
5 conduto 10 flexível, a qual, à medida que é desenrolada desde o navio 20 de  
instalação se apresenta, em primeiro lugar, na forma vertical, como repre-  
sentado na figura 2A, devido ao fato de flutuar, pelo menos, na sua parte  
10a terminal, pelos elementos 10f de flutuabilidade regularmente repartidos  
sobre a porção 10a terminal.

10 Deve salientar-se, igualmente, que o conduto 9 rígida de aço  
pode ser, de modo conhecido, um conduto de tipo *Pipe-in-Pipe* compreen-  
dendo um sistema de isolamento no espaço anelar entre os dois condutos  
coaxiais constituintes da riser 9 e, além disso, um sistema de isolamento, tal  
como espuma sintáctica que serve como sistema de flutuabilidade, como  
15 descrito acima.

Quando a extremidade inferior da inserção 5e tubular de anco-  
ragem apresenta, de um modo preferido, uma forma ligeiramente cônica 5f é  
posicionada na proximidade e sobranceira ao orifício 4a da base 4, dirige-se,  
de um modo vantajoso, a referida inserção 5e tubular de ancoragem, mais  
20 precisamente, devido a um submarino automático ou «ROV» 20a pilotado  
desde a superfície. A referida inserção 5e tubular com um comprimento de  
10 a 15 m reentra, então, naturalmente e devido ao seu próprio peso, no re-  
ferido primeiro pilar tubular de ancoragem enfiado no fundo do mar sobre  
uma profundidade de 30 a 70 m.

25 O diâmetro externo da inserção 5e tubular de ancoragem pode  
ser ligeiramente inferior ao diâmetro interno do primeiro pilar 6, por exemplo,  
inferior em 5 cm, o que facilita a orientação da inserção 5 tubular dentro do  
referido primeiro pilar 6, impedindo, ao mesmo tempo, os movimentos trans-  
versais em um plano horizontal depois de a inserção 5 tubular estar comple-  
30 tamente inserida, como representado na figura 3.

Neste momento, um ferrolho 4b, representado em posição retra-  
ída na figura 2A, é deslocado em posição engatada, como nas figuras 1 e 3,

de modo a bloquear a placa 5d superior da inserção 5e tubular, dentro do referido primeiro pilar 6, impedindo, assim, qualquer deslocação para cima do conjunto 1 de ligação fundo-superfície que se encontra encaixado através do dispositivo 5 de suporte de ligação no primeiro pilar 6 solidário com a referida base 4.

Depois de o ferrolho 4b ter sido engatado, termina-se o desenrolamento do conduto flexível, como representado na figura 3, e conecta-se a extremidade superior do conduto flexível a uma boia 21 provisória de subsuperfície, estando a mesma ligada a um corpo morto 21 b assente no fundo do mar por um cabo 21a.

Procedendo assim, pré-instala-se, de um modo vantajoso, a integralidade da ligação 1 fundo-superfície antes da colocação do FPSO 12, o que facilita em muito as operações.

Depois de o suporte 12 flutuante estar posicionado à superfície, recupera-se a extremidade 10e do conduto 10 flexível que se vai, então, conectar ao referido suporte 12 flutuante FPSO, como representado na figura 1, e recupera-se a boia 21 provisória, bem como o seu corpo morto 21b e o seu cabo 21a de ancoragem.

A inserção 5e tubular transmite ao referido primeiro pilar 6 tubular os momentos de flexão devidos aos esforços de cisalhamento e transversais sofridos ao nível do encaixe da peça 8 no dispositivo 5.

O sistema de fixação da extremidade superior do conduto 9 rígido com o conduto 10 flexível e a aplicação de tensão aos referidos condutos confere uma maior estabilidade à extremidade superior do conduto 9 rígida com uma variação angular  $\gamma$  que não excede, em operação, os  $5^\circ$ .

Assim, foi possível, de acordo com a presente invenção, realizar um encaixe rígido da extremidade inferior do conduto 9 rígido de aço à base 4 através do dispositivo 5 de suporte de ligação. Para o efeito, o elemento de conduto terminal inferior do conduto 9 rígido compreende uma peça 8 de transição cônica cuja inércia, em seção transversal, aumenta progressivamente desde um valor sensivelmente idêntico à inércia do elemento de conduto 9 da riser ao qual está ligada, na parte elevada estreita da peça 8 de

transição, até um valor de 3 a 10 vezes superior ao nível da sua parte baixa ligada à referida primeira flange 9a de fixação. O coeficiente de variação de inércia depende, essencialmente, do momento de flexão que deve suportar a riser vertical ao nível da referida peça de transição, sendo o referido momento função da excursão máxima da parte superior do conduto 9 rígido de aço, por conseguinte, do ângulo  $\gamma$ . Para realizar esta peça 8 de transição utilizam-se aços de elevado limite elástico e, em casos extremos de tensão, pode ser-se levado a fabricar peças 8 de transição em titânio.

Na figura 4, representou-se uma peça 8 de transição cilindro-cônica apresentando uma espessura variável que aumenta, progressivamente, desde a parte 81 elevada estreita até à parte 82 baixa mais espessa com um diâmetro interno constante correspondente ao diâmetro interno de um conduto rígido convencional e, em qualquer caso, ao diâmetro interno do referido segundo elemento 6 de conduto rígido.

Em uma versão preferida da invenção, representada em corte e em vista lateral nas figuras 5A-5B-5C, a peça 8 de transição é constituída por um elemento 8a de conduto principal de aço, de um modo preferido, com um diâmetro  $d_1$  interno idêntico ao da seção principal do conduto 9 e, de um modo preferido, com uma espessura igual ou ligeiramente superior à da referida seção principal do referido conduto 9 e, de um modo preferido, com uma espessura igual à do referido segundo elemento 5b de conduto curvo. Para obter um aumento da inércia, à medida que há uma aproximação da flange 9a de encaixe, dispõe-se de uma sucessão de elementos (8b-8d) de condutos coaxiais de alturas ( $h_2, h_3, h_4$ ) decrescentes, tendo cada um dos referidos elementos de condutos coaxiais um diâmetro ( $d_2-d_4$ ) interno superior ao diâmetro externo  $D_1-D_3$  do elemento de conduto coaxial precedente que contém e um comprimento ou altura inferior ao comprimento do elemento de conduto precedente, ou seja, o elemento de conduto que contém ou que cobre, e uma espessura função do aumento de rigidez pretendido.

Assim, na figura 5A, representou-se uma peça 8 de transição compreendendo um primeiro elemento 8a de conduto interno e três elementos 8b-8c-8d de conduto de reforço coaxiais com diâmetros  $d_2-d_3-d_4$  crescen-

tes e comprimentos  $h_2$ - $h_3$ - $h_4$  decrescentes, sendo cada dos referidos elementos de conduto coaxiais solidário, na sua extremidade inferior, com a mesma referida primeira flange 9a. Para assegurar uma variação sensivelmente contínua da inércia entre a parte elevada de inércia reduzida da peça 5 8 de transição e a parte baixa de forte inércia situada na ligação com a flange 9a, injeta-se, de um modo vantajoso, nos espaços anelares entre os referidos elementos de condutos coaxiais, um material 8e elastômero, de um modo preferido, tal como um poliuretano, cuja dureza é ajustada para obter a variação de rigidez pretendida, notadamente, uma dureza shore de A50 a D70.

10                   Pode ser suficiente injetar o referido material 8e rígido apenas nos interstícios anelares entre os elementos de conduto coaxiais, como representado na figura 5C. Mas, de acordo com a invenção, instala-se um molde, de modo a obter uma peça cilindro-cônica, tal como representado na figura 5B, o que permite efectuar, em uma só operação, o reforço da peça de 15 transição e a sua protecção no que diz respeito à agressão do meio externo por um revestimento externo que lhe confere, assim, uma forma cilindro-cônica com uma transição de inércia regular e contínua. Tem que se ter cuidado para não cobrir com resina termoendurecível a parte superior da peça de transição ao longo de um comprimento de 20 a 50 cm de modo a poder 20 uni-la, a bordo do navio 20 de instalação, por soldadura, à extremidade inferior do conduto 9 rígido.

Compreende-se que para fabricar a peça 8 de transição de acordo com a invenção, se procede do seguinte modo:

- 25                   - solda-se a extremidade inferior do primeiro elemento 8a de conduto principal de maior comprimento à flange 9a, e
- insere-se, em torno do referido primeiro elemento 8a de conduto principal, um primeiro elemento 8b de conduto de reforço coaxial cuja extremidade inferior é soldada à mesma flange 9a, e
- insere-se a segundo conduto 8c de reforço em torno do primeiro 30 ro elemento 8b de conduto de reforço e solda-se a sua extremidade inferior à flange 9a, e
- insere-se um terceiro elemento 8d de conduto de reforço de

menor altura em torno do segundo elemento 8c de conduto de reforço e solda-se a sua extremidade inferior à flange 9a, e

- injeta-se um material termoplástico ou termoendurecível entre os diversos elementos de condutos e, se for caso disso, reveste-se a sua superfície externa através de um molde cilindro-cônico para obter a rigidez e  
5 variação de inércia e protecção contra a corrosão pretendidos.

Na figura 6, representou-se o diagrama I de variação da inércia, em ordenadas, entre a flange 9 e a extremidade superior da peça 8 de transição das figuras 5B e 5C. A escada 30 a tracejado representa a variação da  
10 seção em aço na ausência de material de cobertura e enchimento ao nível de cada um dos elementos de condutos de reforço. As curvas 31-32-33 representam a variação da inércia ( $\Sigma EI$ ) da peça 8 de transição das figuras 4 e 5C em função do seu comprimento, de acordo com o tipo de material de enchimento. A curva 33, de forma parabólica, é obtida com um material de  
15 enchimento de tipo poliuretano de dureza shore A90 ou A95 e constitui uma versão preferida da invenção. A curva 31 é obtida com um material muito mais duro, tal como um cimento de desempenho muito elevado, sozinho ou em combinação com uma carga pulverulenta, tal como areia.

A título de exemplo, uma peça de transição de 18 m de comprimento  $h_1$  é realizada através de uma flange 9a de 200 mm de espessura  
20 sobre a qual se solda um elemento 8a de conduto principal com um diâmetro externo  $d_1 = 323,85$  mm, espessura de 20,6 mm e comprimento  $h_1 = 18$  m, um primeiro reforço 8b coaxial com um diâmetro externo  $d_2 = 457,20$  mm, espessura de 12,7 mm e comprimento  $h_2 = 12$  m, um segundo reforço 8c  
25 coaxial com um diâmetro externo  $d_3 = 609,6$  mm, espessura de 6 mm e comprimento  $h_3 = 6$  m. Seguidamente, faz-se uma cópia de molde de tudo, quer em posição vertical, quer em posição oblíqua com uma inclinação de 5 a 30% para facilitar o enchimento e evitar os vazios, através de uma resina de poliuretano 8e de dureza shore A90 ou A95. O espaço entre primeiro 8a  
30 conduto e o primeiro reforço 8b é de 53,98 mm e o espaço entre o segundo reforço e o primeiro reforço é de 70,2 mm. O aumento da inércia é, sensivelmente, de um fator  $k=3$  ao nível do primeiro reforço 8b e de um fator  $k=5$

ao nível do segundo reforço 8c. Aquando do vazamento, efectuam-se, de um modo vantajoso, ciclos de depressão no molde durante o enchimento de modo a eliminar ao máximo as bolhas de ar indesejáveis. Com efeito, pelo fato de a peça de transição ir ser instalada a muito grande profundidade, a  
5 pressão hidrostática pode ter efeitos prejudiciais no funcionamento mecânico global após um desmoronamento sobre si própria das referidas bolhas devido à referida pressão que é sensivelmente de 10 MPa por fracção de 1000 m de água.

Na figura 3A, descreveu-se a invenção com uma base 4 colocada ao mesmo tempo que o conduto submarino assente no fundo, sendo a  
10 referida base estabilizada por um primeiro pilar 6 que a atravessa. Mas permanece-se no espírito da invenção se se considerar, como na figura 3B, uma base 4 constituída por uma âncora por sucção, apresentando um orifício, de um modo preferido circular, integrado na referida âncora por sucção e desempenhando o papel de pilar 6 e apta a receber a inserção 52 de ancoragem. Assim, o dispositivo 5 de suporte e ligação na extremidade inferior da  
15 ligação fundo-superfície encontra-se directamente encaixado na âncora por sucção cujo peso atinge 25 a 50 toneladas para um diâmetro de 3 a 5 m e uma altura de 20-25 m. Nesta configuração, o conduto 2 submarino é colocado de modo independente e necessita, conseqüentemente, de um conduto  
20 7 de junção fabricado a pedido após instalação da ligação fundo-superfície e do conduto 2 submarino. O referido conduto 7 de junção necessita, então, de dois conectores 7a-7a<sub>1</sub>, 7b<sub>1</sub>-7b automáticos, um em cada das suas extremidades, enquanto a versão descrita recorrendo à figura 3A necessita apenas  
25 de um só conector 7a-7b automático.

A invenção foi descrita em uma versão preferida fabricada e simultaneamente instalada no local a partir de um navio 20 de instalação, mas permanece-se no espírito da invenção com uma pré-fabricação do conjunto completo em um estaleiro em terra, sendo o conjunto rebocado seguidamente, sensivelmente na horizontal, até ao local e, seguidamente e por último,  
30 virado com vista à inserção da inserção 5e de ancoragem no primeiro pilar 6 tubular.

## REIVINDICAÇÕES

1. Elemento (8) de conduto de transição de inércia compreendendo um elemento (8a) de conduto rígido principal compreendendo, em uma extremidade, uma peça de transição de inércia, constituída, pelo me-
- 5 nos, por uma, de um modo preferido, uma pluralidade (n) de elementos (8b-8d) de conduto de reforço coaxiais dispostos coaxialmente em relação ao referido elemento (8a) de conduto principal, apresentando cada referido elemento (8b-8d) de conduto de reforço um diâmetro ( $d_{i+1}$ ) interno superior ao diâmetro ( $D_1, D_i$ ) externo do elemento de conduto principal e, se for caso
- 10 disso, ao(s) outro(s) elemento(s) de conduto de reforço que contém, sendo os diferentes elementos (8a) de conduto principal e o(s) elemento(s) (8b-8d) de conduto de reforço posicionados com uma das suas extremidades situada no mesmo nível segundo a direção do eixo de simetria ( $Z_1Z'_1$ ) dos referidos elementos de conduto e apresentando cada referido elemento (8b-8d)
- 15 de conduto de reforço um comprimento ( $h_i$ , com  $i = 2$  a  $n$ ) inferior ao comprimento ( $h_1$ ) do elemento (8a) de conduto principal e, se for caso disso, ao comprimento dos outros elementos de conduto de reforço ( $h_{i-1}$ ) que contém, estando o espaço anelar ( $D_i - d_{i+1}$ ) entre os diferentes elementos de conduto preenchido com um material (8e) de enchimento sólido,
- 20 caracterizado por:
- o referido espaço anelar ser totalmente preenchido ao longo de toda a sua altura com um mesmo material sólido de enchimento compreendendo, de um modo preferido, um material elastômero, ainda de um modo preferido, à base de poliuretano, apresentando uma dureza shore superior
  - 25 ou igual a A50, ainda de um modo preferido, de A50 a D70 e
  - o referido elemento de transição de inércia estar coberto por um material de cobertura elastômero resistente à corrosão, de um modo preferido, de tipo poliuretano, apresentando o referido elemento de conduto terminal de transição de inércia uma forma cilindro-cônica devido ao seu revestimento pelo referido material de cobertura, a referida forma cilindro-cônica consistindo em uma variação de diâmetro em seção transversal ao
  - 30 longo de sua direção longitudinal axial, aumentando de forma contínua a

partir da extremidade de menor diâmetro até a extremidade de maior diâmetro.

2. Elemento de conduto de transição de inércia de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o referido material de cobertura e o referido material enchimento compreenderem um mesmo material elastômero, de um modo preferido, à base de poliuretano.

3. Elemento de conduto de transição de inércia de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o referido material sólido de enchimento compreender um poliuretano de dureza shore A90 OU A95.

4. Elemento de conduto de transição de inércia de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado por o referido material de enchimento compreender um elastômero carregado com material particulado, de um modo preferido, areia.

5. Elemento de conduto de transição de inércia de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o referido material sólido de enchimento se apresentar sob a forma de um ligante hidráulico, tal como cimento.

6. Elemento de conduto de transição de inércia de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado por a diferença de comprimento entre os diferentes elementos de conduto de reforço coaxiais entre os diferentes elementos de conduto de reforço coaxiais ( $h_i - h_{i+1}$ ) ser constante e igual a  $(h_i \times \frac{1}{n})$ .

7. Elemento de conduto de transição de inércia de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado por o espaço anelar entre dois dos referidos elementos de conduto ( $D_{i+1} - d_i$ ) ser superior ou igual à espessura do referido elemento de conduto de menor espessura e inferior ou igual a duas vezes a espessura do referido elemento de conduto de maior espessura que delimita o referido espaço anelar.

8. Elemento de conduto de transição de inércia de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado por o comprimento do referido elemento (8a) de conduto principal ser de 10 a 50 m, de um modo preferido, de 20 a 30 m e compreender 2 ou 3 dos referidos elementos (8b-8d) de reforço coaxiais.

9. Elemento de conduto de transição de inércia de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado por os diferentes elementos (8a) de conduto principal e de conduto (8b-8d) de reforço coaxial serem fixos a uma mesma placa inferior constituída por uma primeira flange (9a) de fixação apta a permitir a sua ligação estanque a uma segunda flange (5a) de fixação na extremidade de um elemento (2a) de conduto rígido terminal de um outro conduto (2) rígido.

10. Elemento de conduto de transição de inércia, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado por os referidos elementos (8a) de conduto principal e elementos (8b-8d) de conduto de reforços coaxiais serem constituídos, cada um, pela totalidade ou parte de um elemento unitário de conduto convencional, notadamente de conduto submarino de aço, ou serem constituídos, cada, por vários elementos unitários de conduto convencional montados um contra o outro e, de um modo preferido, mantidos coaxialmente por cunhas (18) de centragem repartidas regularmente ao longo da sua direção longitudinal e sobre a sua seção circular nos seus espaços anelares.

11. Elemento de conduto de transição de inércia, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que o referido espalho anular é completamente preenchido de um material de enchimento assegurando, assim, uma variação da inercia progressiva e contínua ao longo da referida peça de transição sobre toda a sua altura.

12. Conduto rígido submarino, de um modo preferido, um conduto de ligação o fundo-superfície, caracterizado pelo fato de compreender, pelo menos em uma das suas extremidades, um referido elemento (8) de conduto de transição de inércia como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 11, apresentando o referido elemento (8a) de conduto principal, de um modo preferido, uma espessura ( $D_1 - d_1$ ) superior ou igual a do referido conduto (9, 12c) rígida submarina e um diâmetro ( $d_4$ ) interno idêntico.

13. Método de encaixe rígido da extremidade de um conduto rígido como definido na reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que se realiza a sua ligação a um equipamento de rigidez superior à do referido

conduto rígido.

14. Método de acordo com a reivindicação 13, caracterizado por o referido equipamento de rigidez superior ser constituído por um elemento (13, 5a-5b) de ligação de conduto compreendendo, de um modo preferido, uma flange de fixação, estando o referido elemento situado no nível de uma base (4) assentando no fundo do mar ou da borda de um suporte (12) flutuante ou de uma boia (12b) na superfície ou subsuperfície.

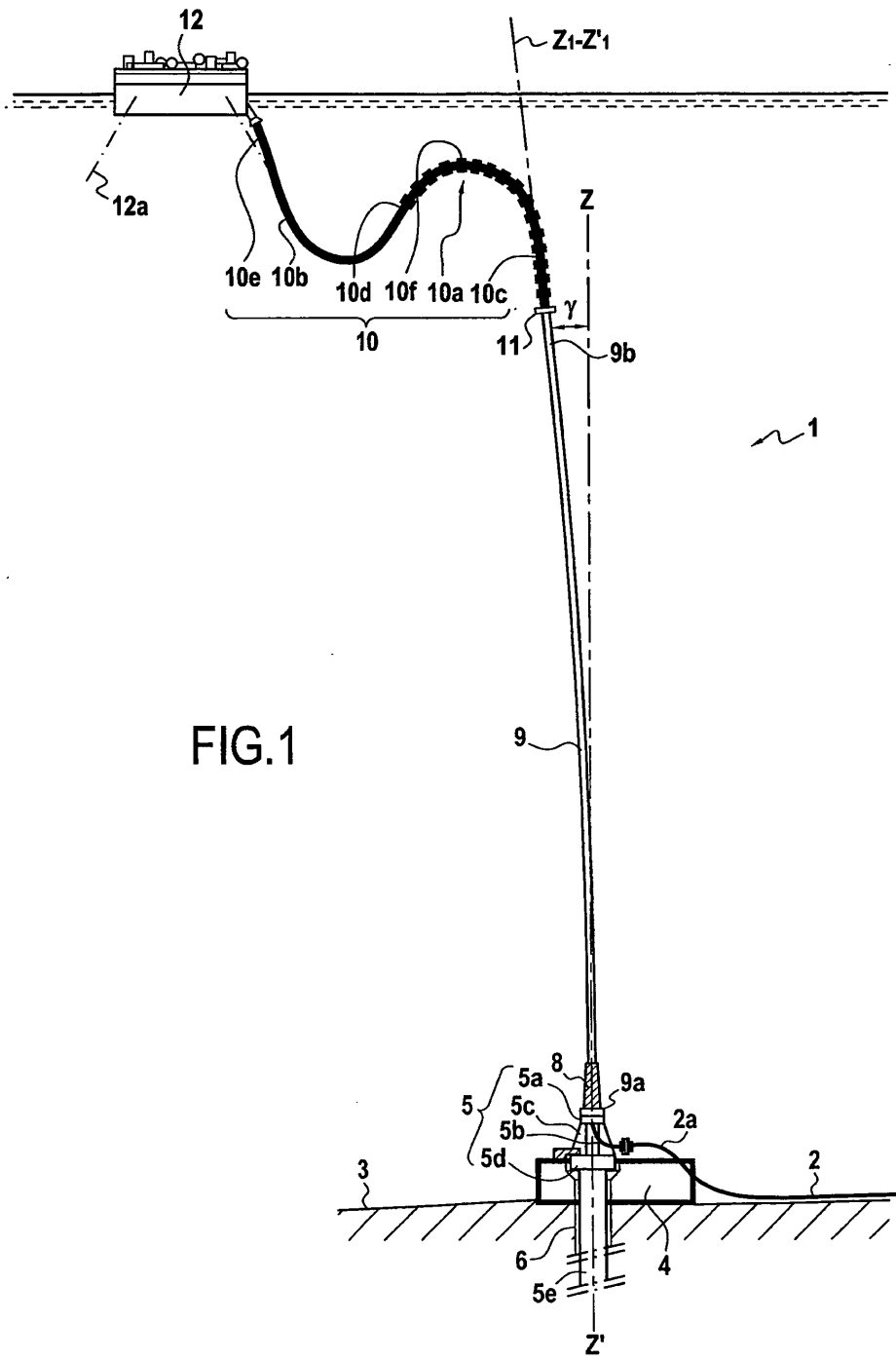
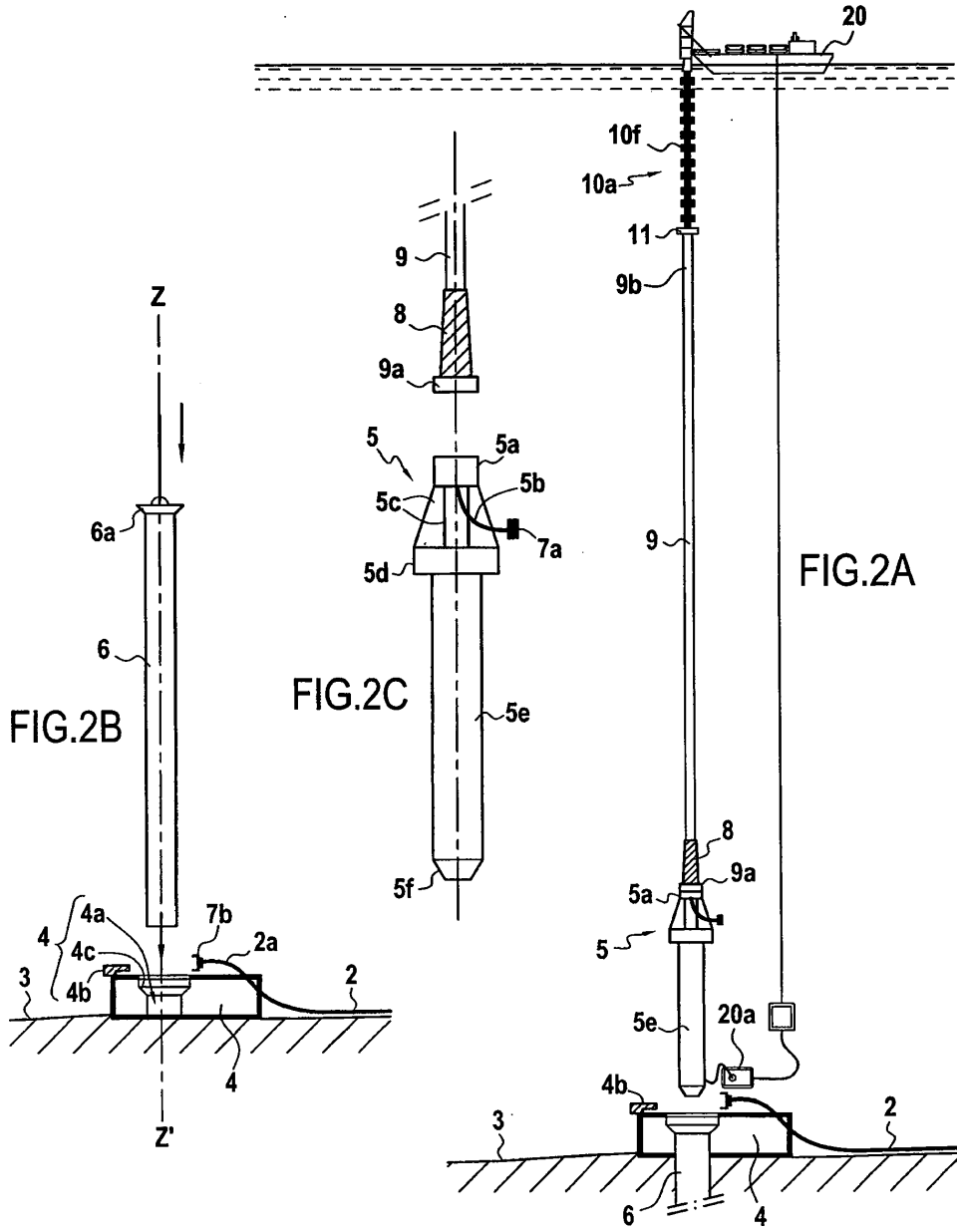


FIG.1



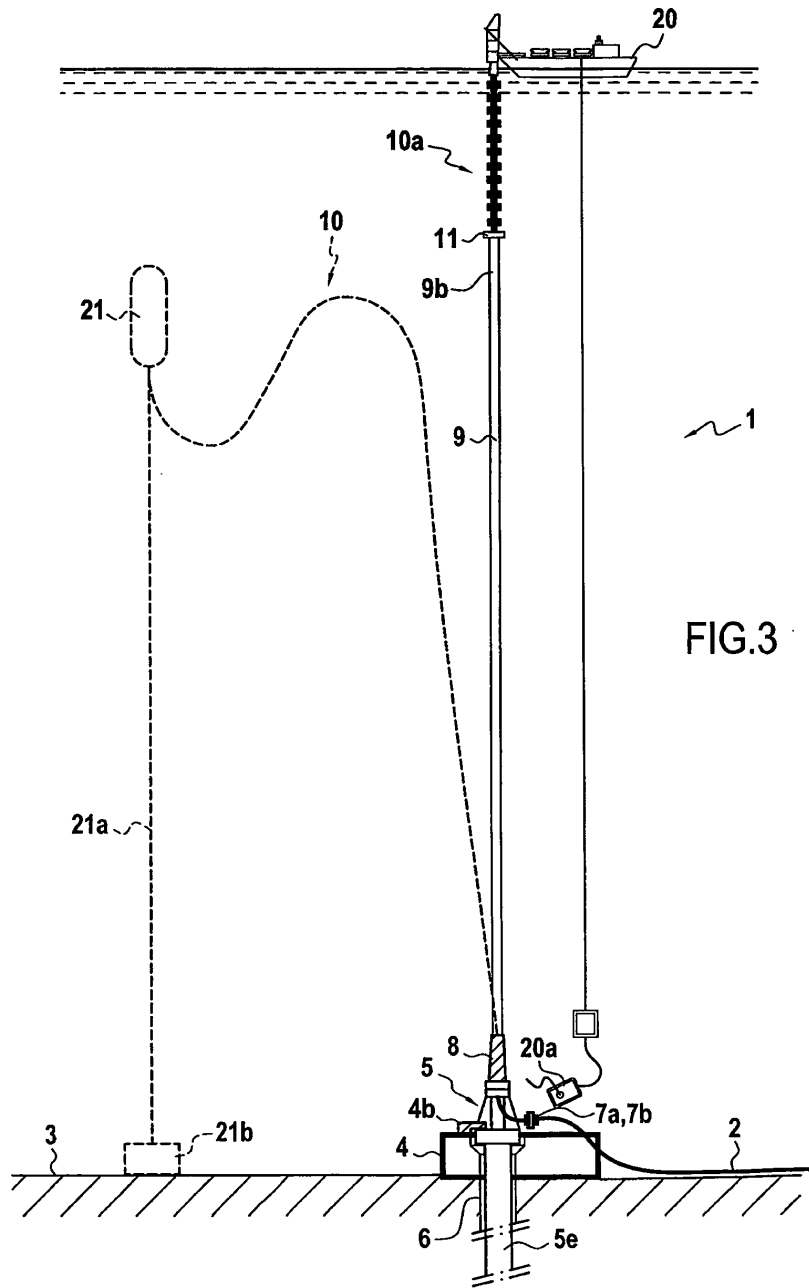


FIG.3

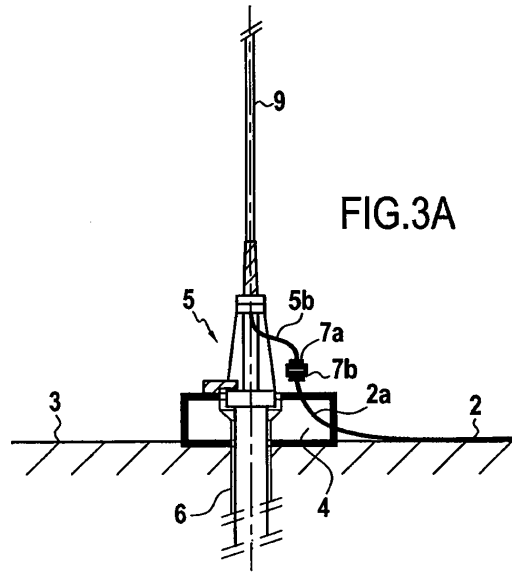


FIG. 3A

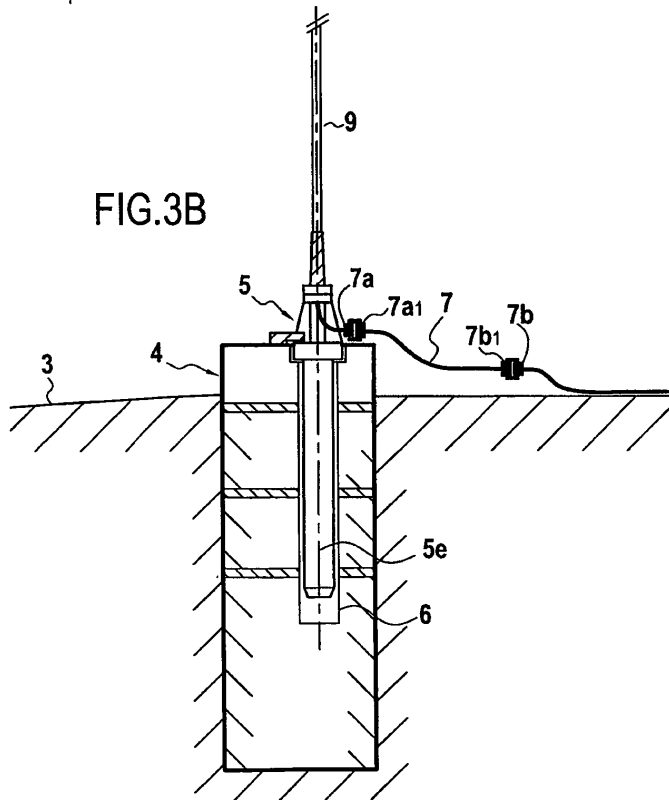


FIG. 3B

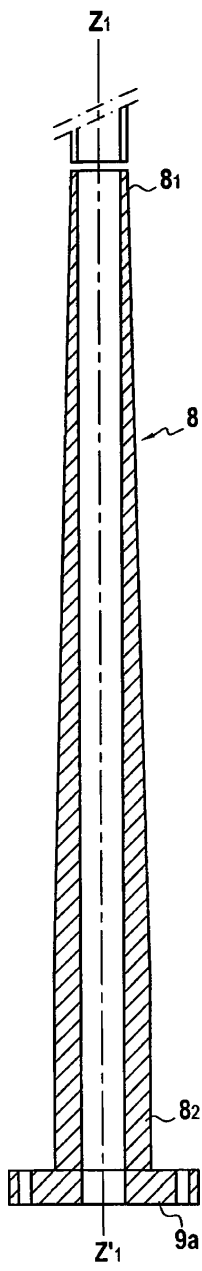


FIG. 4

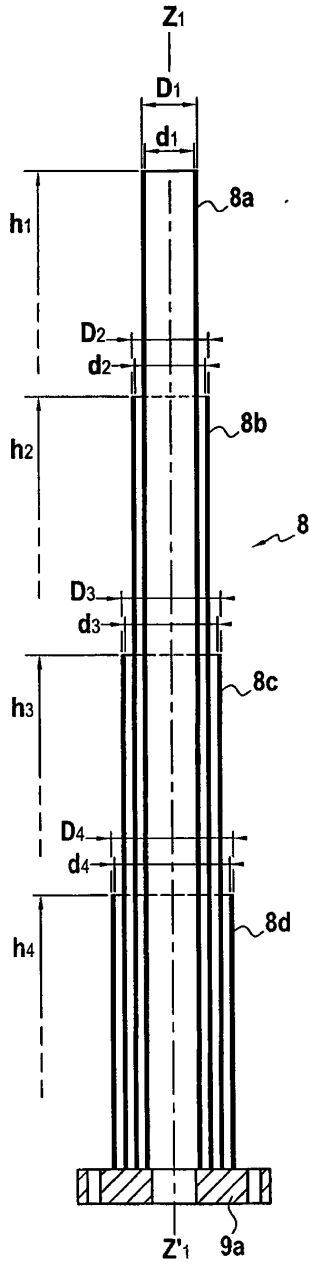


FIG. 5A

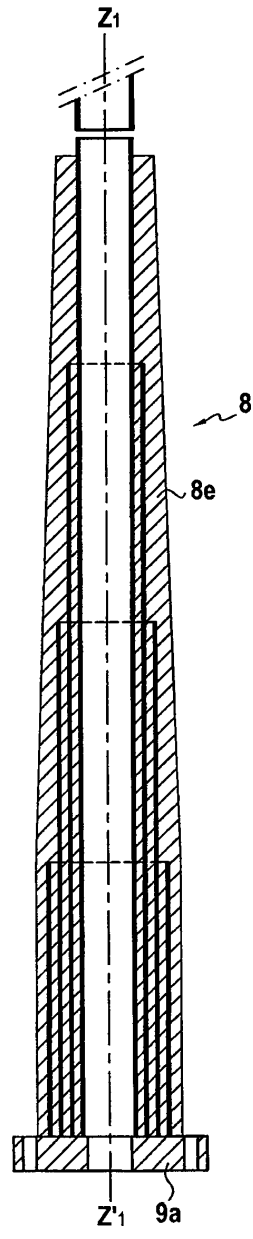


FIG. 5B

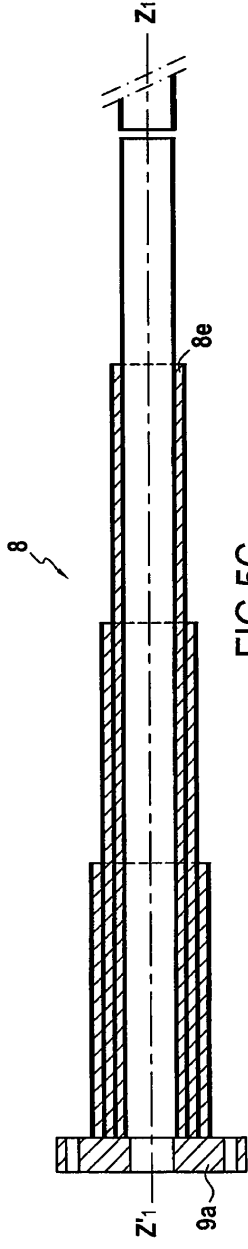


FIG. 5C

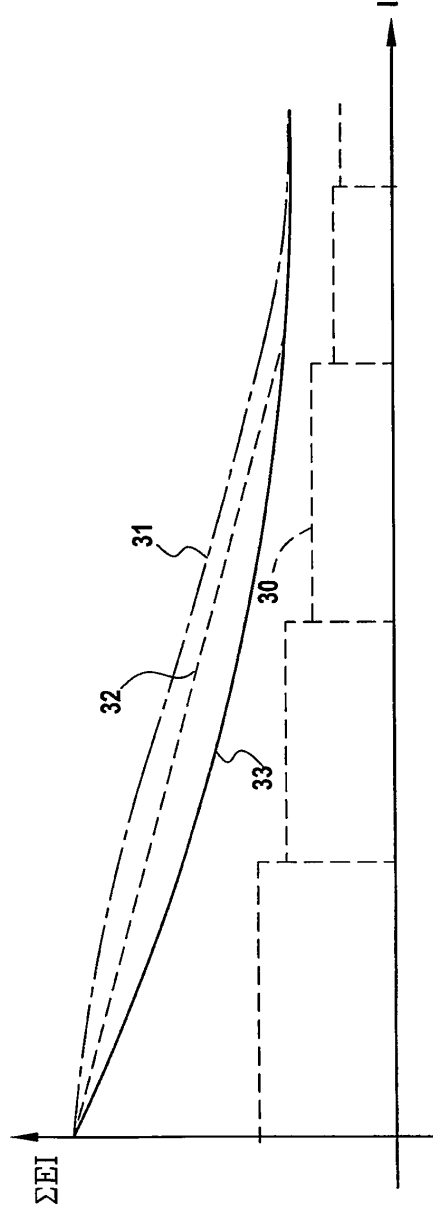


FIG. 6

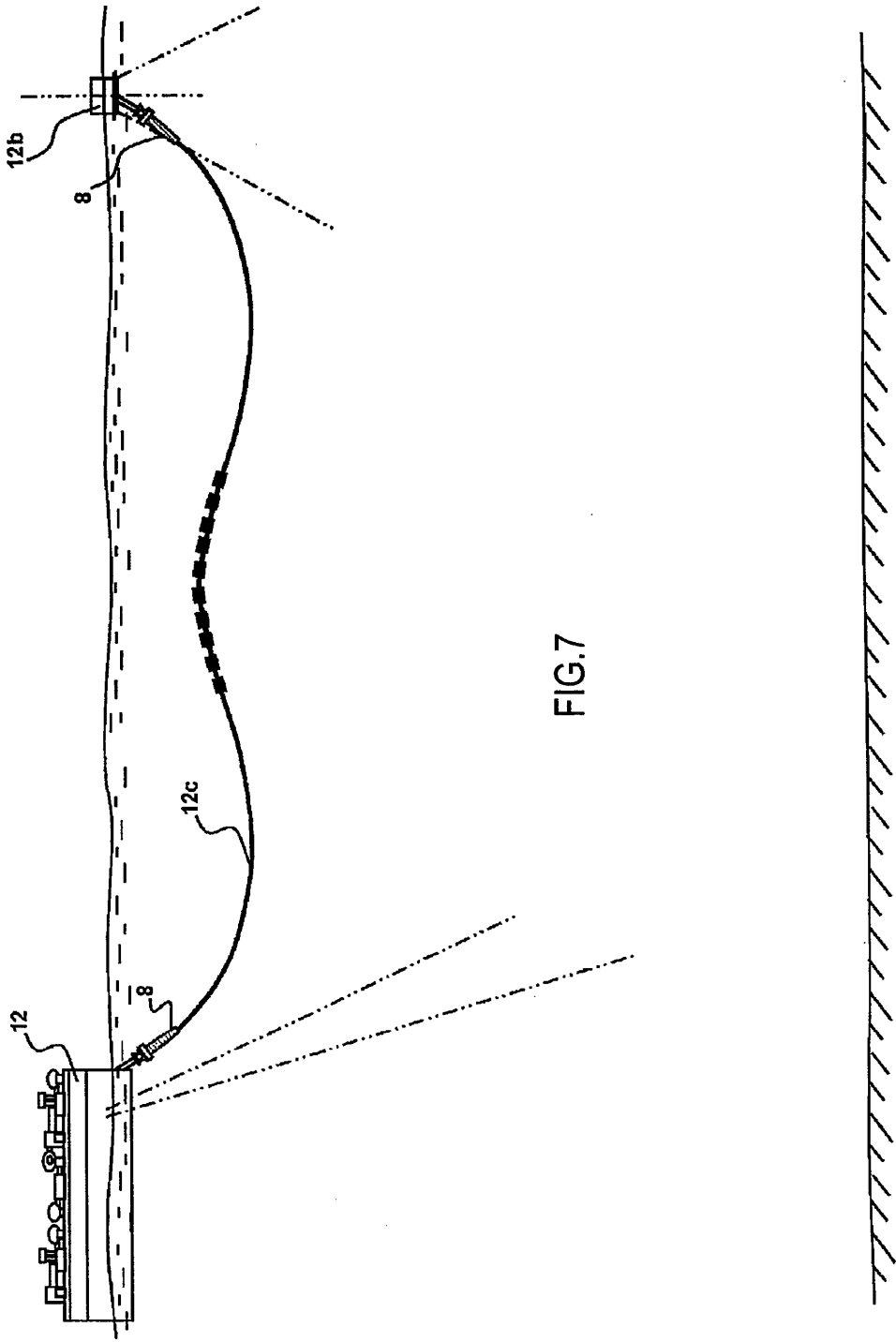


FIG.7