



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

(11) PI 0919950-0 B1



(22) Data do Depósito: 23/09/2009

(45) Data de Concessão: 16/07/2019

(54) Título: MÉTODO PARA ALIJAR UMA COLUNA MONTANTE COM PEÇA DE DESGASTE OTIMIZADA

(51) Int.Cl.: E21B 17/01; E21B 17/08; E21B 17/10.

(30) Prioridade Unionista: 29/10/2008 FR 08 06016.

(73) Titular(es): IFP ENERGIES NOUVELLES.

(72) Inventor(es): JEAN GUESNON.

(86) Pedido PCT: PCT FR2009001137 de 23/09/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/049602 de 06/05/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 29/04/2011

(57) Resumo: MÉTODO PARA ALIJAR UMA COLUNA MONTANTE COM PEÇA DE DESGASTE OTIMIZADA A presente invenção refere-se a uma coluna montante para a perfuração de um poço no mar comporta uma tubulação principal que prolonga o poço até um suporte flutuante, um conduto auxiliar sendo disposto paralelamente à tubulação principal (4a, 4b). O conduto auxiliar que comporta trechos tubulares (7a, 7b) em aço ligados ponta a ponta, conforme um encaixe que desliza por intermédio de uma peça de ponteira tubular (25). De acordo com a invenção, escolhe-se um material, por exemplo, uma liga de titânio, tendo um limite elástico pelo menos 25% superior àquele do aço dos trechos tubulares (7a, 7b) para realizar essa peça de ponteira (25) e se dimensiona a peça de ponteira e a extremidade desses trechos, considerando-se o limite elástico desse material, de maneira a reduzir a seção de estanqueidade da peça de ponteira.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO PARA ALIJAR UMA COLUNA MONTANTE COM PEÇA DE DESGASTE OTIMIZADA"**.

5 A presente invenção refere-se ao domínio da perfuração e da exploração de jazidas petrolíferas ou de gases situados no mar. Ela refere-se a uma arquitetura específica de coluna montante.

Uma coluna montante de perfuração, comumente denominada "riser", é constituída por um conjunto de elementos tubulares denominados "juntas", ligados por conectores mecânicos. Os elementos tubulares são ge-
10 ralmente constituídos de uma tubulação principal nas extremidades do qual são soldadas as peças de conexão. A tubulação principal é provida de condutos auxiliares comumente nomeadas "*kill line*", "*choke line*", "*booster line*" e "*hidraulic line*" que permitem a circulação de fluidos entre o fundo e a su-
15 perfície. Os condutos auxiliares são habitualmente instalados em torno da tubulação principal daí seu nome usual de linhas periféricas. Os elementos tubulares são ligados sobre o local de perfuração, a partir de um suporte flu-
tuante. A coluna desce no trecho de água à medida que ocorre a ligação dos elementos tubulares até atingir a cabeça de poço de situada no fundo do mar. Elementos flutuadores são dispostos ao longo da coluna, a fim de alijar
20 o peso na água.

A exploração de jazidas situadas no mar a profundidades de água muito grandes e/ou de jazidas de alta pressão impõe a utilização das colunas montantes, cujo peso e cujo custo são penalizantes.

A presente invenção propõe a modificação da peça de ligação,
25 comumente nomeada "*replaceable stab*", tubulações que formam os condutos auxiliares, a fim de reduzir a seção de estanqueidade da peça de ligação, com a finalidade de reduzir os esforços aplicados ao conjunto da coluna montante e, portanto, reduzir o dimensionamento dos diferentes elementos que constituem a coluna montante, notadamente reduzir a espessura das
30 tubulações e o diâmetro dos flutuadores.

De maneira a geral, a invenção descreve um método para alijar o peso de uma coluna montante para a perfuração de um poço no mar. A

coluna comporta uma tubulação principal que prolonga o poço até um suporte flutuante, pelo menos um conduto auxiliar sendo disposto paralelamente à tubulação principal, o conduto auxiliar que comporta trechos tubulares em aço ligados ponta a ponta, cada um desses trechos sendo ligado ao trecho
5 adjacente, por intermédio de uma peça de ponteira, essa peça de ponteira sendo montada solidária sobre a extremidade de um trecho e montada por encaixe deslizante na extremidade de um outro trecho, meios de estanqueidade sendo dispostos entre a peça de ponteira e o trecho no nível do encaixe deslizante. O método é caracterizado pelo fato de se escolher um materi-
10 al que tem um limite elástico pelo menos 25% superior ao limite elástico do aço dos trechos tubulares para realizar essa peça de ponteira e pelo fato de se dimensionar a peça de ponteira e a extremidade desses trechos, considerando-se o limite elástico desse material, de maneira a reduzir a seção externa da peça de ponteira no nível dos meios de estanqueidade.

15 De acordo com a invenção, pode-se escolher o diâmetro interno da peça de ponteira inferior ao diâmetro interno dos trechos tubulares do conduto auxiliar.

De preferência, pode-se escolher um material que tem um limite elástico pelo menos 49% superior ao limite elástico do aço dos trechos tubu-
20 lares para compor essa peça de ponteira.

A invenção descreve também uma coluna montante obtida, aplicando-se o método, de acordo com a invenção. Na coluna, conforme a invenção, esse material pode ser composto de uma liga metálica que comporta pelo menos 80% em peso de titânio, por exemplo, o Ti-6-4 ou o Ti-6-6-2.

25 Alternativamente, esse material pode ser composto de um aço e pelo menos a superfície interna dessa peça de ponteira pode ser revestida de uma camada de proteção contra a corrosão.

Na coluna montante, de acordo com a invenção, cada um desses trechos tubulares pode comportar um corpo tubular metálico guarnecido
30 com aros por rolamentos de fibras revestidas de matriz polímero.

Outras características e vantagens da invenção serão melhores compreendidas e aparecerão claramente com a leitura da descrição feita a

seguir, com referência aos desenhos, dentre as quais:

- a figura 1 representa uma coluna montante instalada no mar;
 - a figura 2 representa um trecho da coluna montante;
 - a figura 3 esquematiza uma ligação de linhas auxiliares, se-
- 5 gundo a invenção.

A figura 1 esquematiza uma coluna montante 1 instalada no mar, destinada a perfurar um poço P para explorar a jazida G. A coluna montante 1 prolonga o poço P e se estende a partir da cabeça de poço 3 até o suporte flutuante 2, por exemplo, uma plataforma flutuante, um barco ou um navio. A

10 cabeça de poço 3 é munida de obturadores comumente nomeados "B.O.P". ou "*Blow Out Preventer*".

A coluna montante 1 é constituída pela ligação de vários trechos de tubulações quatro, tais como representados em detalhes na figura 2, ligados ponta a ponta pelos conectores 5. Os conectores podem ser do tipo co-

15 nector com baioneta, por exemplo, descrito pelos documentos FR 2 432 672 e FR 2 866 942, ou de tipo conector com flange, ou de qualquer outro tipo de conector.

Com referência à figura 1, condutos auxiliares são dispostos em paralelo e na periferia da tubulação principal formado pela ligação das tubu-

20 lações quatro. Os condutos auxiliares denominados "*Kill line*" e "*choke line*" são utilizados para circular fluidos entre o poço e a superfície, ou inversamente, quando os BOP são fechados, a fim de permitir notadamente o desenrolar dos procedimentos de controle das vindas de fluidos sob pressão no poço. O conduto auxiliar denominado "booster line" permite injetar lama

25 no nível do pé da coluna montante. O(s) conduto(s) auxiliar(es) denominado(s) "*hydraulic line(s)*" permite(m) transferir um fluido sob pressão para comandar os obturadores "B.O.P" da cabeça de poço.

Os condutores auxiliares são constituídos de vários trechos de tubulações 7 ligados aos elementos de tubulação principal e ligados ao nível

30 dos conectores 5.

As tubulações 7 podem ser mecanicamente reforçadas. Para isso, utilizam-se elementos de tubulações de resistência otimizada por uma

guarnição em aros em material compósito composto de fibras revestidas de matéria polímero.

Uma técnica de guarnição com aros de tubulações pode ser aquela que consiste em enrolar sob tensão fitas em material compósito em torno de um corpo tubular em metal, descrita nos documentos FR 2 828 121, FR 2 828 262, US 4.514.254. Pode-se também aplicar uma técnica conhecida pelo nome de autoguarnição com aros que consiste em criar a dificuldade de guarnição com aros, quando de uma prova hidráulica da tubulação a uma pressão que provoca a ultrapassagem do limite elástico no corpo metálico. Em outros termos, enrolam-se fitas em material compósito em torno do corpo tubular em metal sem induzir esforços significativos no corpo tubular em metal. Depois, se aplica uma pressão determinada no interior do corpo em metal, de modo que o corpo metálico se deforma, de maneira plástica. Após retorno à pressão nula, subsistem esforços residuais de compressão no corpo em metal e esforços de tração nas fitas em material compósito.

Na parte inferior, a coluna montante 1 é conectada à cabeça de poço 3 por intermédio do "L.M.R.P." ou "*Lower Marine Riser Package*" 8. A ligação entre o meio de conexão 8 e a coluna montante pode comportar uma articulação, comumente nomeada "*Ball joint*" ou "*flex joint*", que permite um rebatimento angular de vários graus.

Na parte superior, a coluna montante 1 é encaixada no suporte flutuante 2 por um sistema de tensores 9, por exemplo, constituído de um conjunto de macacos hidráulicos, de acumuladores óleo-pneumáticos, de cabos de transferência e de polias de transmissão.

A continuidade hidráulica da coluna montante 1 até o piso de perfuração é feita, graças a uma junta deslizante 10, comumente nomeado "*slip joint*", e por uma articulação 11 que autoriza um rebatimento angular de vários graus.

Flutuadores 12 realizados sob a forma de módulos de espuma sintática ou de outros materiais de densidade inferior àquela da água do mar são ligados à tubulação principal 4. Os flutuadores 12 permitem alijar a coluna montante 1, quando é imersa e reduzir a tensão que é necessária aplicar

na cabeça do riser, por meio de tensores.

A figura 2 representa em detalhes um trecho de coluna montante. A tubulação principal 4 é munida em suas extremidades dos elementos de um conector 5 que estão aptos a cooperarem um com o outro. Os flutuadores 12 são repartidos ao longo da tubulação 4. A tubulação de conduto auxiliar 7 é posicionado na periferia dos flutuadores 12. A coluna montante 1 da figura 1 é constituída de uma ligação de vários trechos em referência descritos na figura 2.

A figura 3 representa em detalhes um conector 5 que permite ligar duas tubulações referenciadas 4, assim como duas tubulações referenciadas com 7, na figura 1. Na figura 3, as tubulações 4 da figura 1 são referenciados com 4a e 4b, as duas tubulações 7 da figura 1 são referenciadas com 7a e 7b.

A extremidade de uma tubulação 4a é munida de uma peça tubular macho 21 que coopera com uma peça tubular fêmea 20 que constitui a extremidade da tubulação adjacente 4b. Um anel de bloqueio 22 é montado sobre a peça macho 21. A peça tubular fêmea 20 comporta pinos (isto é, rebordos que se estendem na direção radial sobre uma pequena parte angular) que coopera com os pinos do anel de bloqueio 22 para bloquear a ligação da peça 20 com a peça 21. Em geral, as peças 20 e 21 são soldadas nas extremidades das tubulações 4b e 4a.

As extremidades das tubulações 7a e 7b são respectivamente munidas de peças de ligações fêmeas 24 e 23. As peças 23 e 24 são, em geral, soldadas nas extremidades das tubulações 7b e 7a. Uma ponteira macho 25 de forma tubular coopera com as peças 23 e 24 para assegurar a continuidade hidráulica do conduto auxiliar. Por exemplo, a ponteira 25 é parafusada no interior da ligação fêmea 24. As juntas 26 montadas em calhas abertas no interior da ligação fêmea 24 assegura a estanqueidade da ligação fixa entre a ponteira 25 e a ligação 24. A ligação 23 apresenta um diâmetro interno ligeiramente superior ao diâmetro externo da extremidade da ponteira 25, de maneira a permitir seu encaixe neste e seu deslizamento. A tubulação 7b é mantida fixa em relação à tubulação 4b por meio da ligação 28 que

liga a peça de ligação 23 ao conector 5. Na outra extremidade, a tubulação 7a é simplesmente orientada pela placa suporte 29 que autoriza o deslizamento da ponteira macho 25 através de um orifício aberto nessa placa 29.

Assim, quando se efetua a ligação de dois elementos adjacentes, por meio do conector 5 da tubulação principal, a ponteira macho 25 penetra livremente na ponteira fêmea 23 da linha adjacente e, vindo atritar-se sobre as juntas de estanqueidade 27 alternativamente, assegura automaticamente a estanqueidade hidráulica da ligação. O curso de deslizamento é calculado, de maneira que, na pior situação de alongamento de tubulação principal e de diminuição da tubulação do conduto auxiliar sob o efeito dos esforços, dos momentos, das pressões e das temperaturas, a continuidade hidráulica da ligação é mantida. Além disso, no caso em que um funcionamento tenderia a provocar o desacoplamento da ponteira 25 em relação à ligação 23, uma porca de segurança 30 parafusado sobre a ponteira macho 25 vem se apoiar sobre a placa 29 para impedir o desencaixe.

A ponteira macho 25 constitui uma peça de desgaste, também denominada "*replaceable stab*", cuja substituição por simples parafusação / desaparafusamento pode ser efetuado, se necessário, no decorrer da vida do "riser".

De maneira geral, o dimensionamento de uma coluna montante para a perfuração no mar é notadamente descrito no documento API RP 2RD (Design of risers for FPs and TLPs), assim como no documento API Spec 16Q.

Para dimensionar uma coluna montante, pode-se mostrar que a tensão dita "efetiva" $N(z)$ na cota z é igual à tensão $T_{\text{cabeça}}$ aplicada pelos tensores na cabeça da coluna diminuída do peso na água da coluna e de tudo o que ele contém entre a cabeça e a cota z considerada. Caso se considere que a coluna está cheia de lama de perfuração e que ela está imersa na água do mar, obtém-se a tensão $N(z)$ por meio da fórmula a seguir que se pode utilizar, adicionando-se elemento por elemento o peso da coluna T_{riser} e o peso da lama P_{lama} e suprimindo-se o impulso de Arquimedes Δ_{arqui} .

$$N(z) = T_{cabeça} - \sum_{cabeça}^z (P_{riser} + P_{lama} - \Delta_{arqui}) \quad (1)$$

Para assegurar a estabilidade lateral do "riser", a tensão efetiva deve ser positiva em todas as seções com uma margem que depende das condições operacionais (profundidade de água, densidade e pressão de fluido, ...) e ambientais (onda, corrente, ...) consideradas.

Uma outra maneira independente de expressar essa tensão efetiva na cota z é de considerar que ela é igual à soma das tensões nos diversos componentes (sólido e fluidos) da coluna, se a coluna fosse uma simples tubulação, seria a soma da tensão dita "verdadeira" na parede (que gera esforços e deformações no metal) e da tensão (negativa) no fluido sob pressão situado no interior (devido à pressão da lama), diminuída da tensão (também negativa) exercida pela água do mar (impulso de Arquimedes).

Tem-se então:

$$N_{simples}(z) = T_{simples}(z) - P_i(z) \cdot S_i + P_e(z) \cdot S_e \quad (2)$$

na qual $N_{simples}$ é a tensão na parede da tubulação, P_i e P_e as pressões que reinam no interior e no exterior da tubulação e S_i e S_e as seções interna e externa da tubulação.

Pode-se mostrar que, em uma seção na cota z determinada, a tensão efetiva na coluna montante é a soma das tensões efetivas em seus componentes tubulares. Tem-se então:

$$N(z) = N_{TP}(z) + \sum_{LP} N_{LP}(z) \quad (3)$$

no qual $N_{TP}(z)$ e $N_{LP}(z)$ são as tensões efetivas na tubulação principal (TP) e nas tubulações auxiliares (LP) explicitadas pela fórmula (2).

Caso se considere que nenhum esforço seja normalmente transmitido de uma linha à seguinte (livre deslizamento), deduzir-se-á que a tensão que é exercida na parede da tubulação (negativa) é unicamente função da geometria e das pressões. Vem:

$$T_{LP}(z) = -P_i(z) \cdot (S_{seal} - S_i) + P_e(z) \cdot (S_{seal} - S_e) \quad (4)$$

e

$$N_{LP}(z) = -[P_i(z) - P_e(z)] \cdot S_{seal} = -\Delta P(z) \cdot S_{seal} \quad (5)$$

A seção de estanqueidade dos condutos auxiliares é igual à seção externa $S_{seal} = \frac{\pi}{4} D_{ext}^2$ da extremidade deslizante da ponteira macho 25 em contato com as juntas de estanqueidade 27, cujo diâmetro é referenciado com D_{ext} .

5 A tensão efetiva em uma linha se expressa simplesmente em função da seção das juntas de estanqueidade S_{seal} e da diferença de pressão entre o interior e o exterior da tubulação.

Colocando-se na equação (3), vem:

$$N(z) = N_{TP}(z) - \sum_{LP} \Delta P \cdot S_{seal} \quad (6)$$

e substituindo-se em (1):

$$10 \quad N_{TP}(z) = T_{cabeça} - \sum_{top}^z (P_{riser} + P_{lama} - \Delta_{arqui}) + \sum_{LP} \Delta P \cdot S_{seal} \quad (7)$$

e, de novo junto a equação (2):

$$T_{TP}(z) = T_{cabeça} - \sum_{top}^z (P_{riser} + P_{lama} - \Delta_{arqui}) + \sum_{LP} \Delta P \cdot S_{seal} + (P_i \cdot S_i - P_e \cdot S_e) \quad (8)$$

Essa equação permite realizar que a tensão T_{TP} que se exerce na parede da tubulação principal 4 da coluna montante 1 (portanto, os esforços e as deformações axiais na tubulação principal) é igual à tensão efetiva na coluna montante à qual se acrescenta o efeito das pressões, comumente nomeado "efeito de fundo", na tubulação principal 4 e nos condutos auxiliares 7. A pressão nos condutos auxiliares 7 podendo ser muito elevada, notadamente nos condutos de segurança, a tensão suplementar induzida por essa pressão não deve ser desprezada, quando do dimensionamento da tubulação principal 4.

De acordo com a invenção, observa-se que a seção interna das juntas de estanqueidade dos condutos auxiliares intervém diretamente no cálculo de numerosos parâmetros que influem sobre o dimensionamento da coluna montante 1, notadamente nos seguintes parâmetros:

- os esforços, as dificuldades e as deformações na parede dos condutos auxiliares 7;

- as condições de aparecimento da flambagem das tubulações que constituem os condutos auxiliares 7;

5 - os esforços, as dificuldades e as deformações na tubulação principal 4.

A presente invenção propõe otimizar o dimensionamento de uma coluna montante, reduzindo tanto quanto possível a seção de estanqueidade S_{seal} dos condutos auxiliares, em particular aquela dos condutos de segurança ("Kill line" e "choke line") que suportam as pressões as mais fortes. Devido ao impacto da seção de estanqueidade sobre os esforços nos condutos auxiliares 7 e da tubulação principal 4, sua redução permite, com efeito, reduzir, de maneira global e significativa, as dimensões dos diferentes elementos da coluna montante.

15 O diâmetro interno da ponteira macho 25 de forma cilíndrica é referenciado com D_{int} . O diâmetro interno do conduto auxiliar é geralmente imposto pelos usuários do "riser", de maneira a limitar as perdas de carga na linha com valores aceitáveis e compatíveis com os procedimentos de controle de erupção. O diâmetro interno D_{int} da ponteira macho 25 é habitualmente considerado igual especificado do conduto auxiliar. O diâmetro externo D_{ext} da ponteira 25 pode, portanto, ser determinado, calculando-se os esforços que são exercidos sobre a ponteira sob o efeito da pressão dos fluidos interno e externo e aplicando-se o critério do API que estipula que esse esforço não deve exceder os 2/3 do limite elástico $R_{p0,2}$ do material utilizado para realizar a ponteira 25. O limite elástico $R_{p0,2}$ é no caso definido como o esforço que provoca uma deformação residual permanente de 0,2% no material.

De maneira geral, os diferentes elementos que constituem os condutos auxiliares, notadamente as linhas de segurança "kill & choke lines" são fabricados em aço resistente à corrosão pelo H_2S , de maneira, por exemplo, a satisfazer a norma ISO-15156-2, versão internacional da norma NACE MR0175-91. Infelizmente, os aços de elevada resistência à corrosão

apresentam, em geral, desempenhos mecânicos relativamente baixos e, inversamente, os aços de elevado limite elástico se corroem rapidamente em presença de fluidos carregados em H₂S e outros gases ácidos, frequentemente contidos nos efluentes provenientes de poços petrolíferos. Dessa forma, os diferentes elementos que constituem um conduto auxiliar 7 são fabricados em aço com boa resistência à corrosão, mas cujo limite elástico está, na prática, limitado a 552 MPa.

A presente invenção propõe realizar a ponteira macho 25 em um material mais resistente que o aço utilizado para realizar os outros elementos da coluna 1, notadamente as tubulações 7 e/ou o conector 5 composto das peças tubular macho 21, fêmea 20 e do anel 22. Por exemplo, escolhe-se um metal, cujo limite elástico é pelo menos 25%, até mesmo 49% superior ao limite elástico do aço das tubulações 7 e/ou do conector 5. Um excelente valor limite do elástico do metal da ponteira 25 é pelo menos 98% superior ao limite elástico do aço das tubulações 7 e/ou do conector 5. Para satisfazer as normas sobre a resistência à corrosão, escolhe-se um material resistente à corrosão e que pode ser parafusado na peça de ligação 24.

Por exemplo, fabrica-se a ponteira 25 em liga de titânio. Por exemplo, pode-se utilizar uma liga de titânio Ti-6-4 (a liga comportando, em por cento do peso, pelo menos 85% de titânio, aproximadamente 6% de alumínio e 4% de vanádio) que apresenta um limite elástico mínimo de 830 MPa. Uma outra liga de titânio utilizado, segundo a invenção, é o Ti-6-6-2 comportando, em por cento do peso, aproximadamente, 6% de alumínio, 6% de vanádio e 2% de estanho e pelo menos 80% de titânio. O Ti-6-6-2 apresenta um limite elástico mínimo de 965 MPa no estado recozido e mesmo de 1100 MPa no estado envelhecido.

A ponteira 25 pode também ser fabricada em aço com elevado limite elástico. Por exemplo, podem ser utilizados os aços X100 ou X120 que apresentam, respectivamente, um limite elástico de 690 MPa e 830 MPa. Nesse caso, para prevenir o problema de corrosão, a superfície interna da ponteira 25, isto é, a superfície tubular em contato com o fluido, é revestida com uma camada de proteção contra a corrosão. As técnicas utilizáveis são

o depósito de um revestimento, comumente nomeado "*cladding*", por colaminação ou explosão. Esse revestimento pode, por exemplo, ser fabricado em um aço inoxidável. A colocação de um revestimento pode também ser realizada, por exemplo, por recarregamento de soldagem ou por projeção plasma de pó, depois reusinagem na cota especificada.

O fato de utilizar um metal mais resistente para realizar as peças de ponteira 25 permite, conservando o diâmetro interno especificado D_{int} , reduzir o diâmetro externo D_{ext} . Com efeito, a utilização de um metal com elevado limite elástico permite reduzir a espessura da peça tubular 25 para resistir às pressões interna e externa. Assim, é possível reduzir as seções de estanqueidade no nível das juntas 27.

Um método aplicado para calcular o esforço máximo na ponteira 25 consiste em determinar os três esforços principais (longitudinal, circunferencial e radial), por exemplo, para o elemento na cabeça do riser ($P_e = 0$) e combiná-los segundo a forma conhecida de von Mises:

$$\sigma_1 = -P_i \quad (9)$$

$$\sigma_2 = P_i \frac{D_{ext}^2 + D_{int}^2}{D_{ext}^2 - D_{int}^2} \quad (\text{hipótese das tubulações espessas de Lamé}) \quad (10)$$

$$\sigma_3 = -P_i \quad (11)$$

$$\sigma_{vM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (12)$$

$$\sigma_{vM} \leq \frac{2}{3} R_{p0,2} \Rightarrow D_{ext}^2 \geq D_{int}^2 \frac{R_{p0,2}}{R_{p0,2} - 3P_i} \quad (13)$$

Outros métodos de dimensionamento da ponteira macho 25, considerando-se fórmulas mais gerais para o cálculo dos esforços, e/ou procedendo à linearização na espessura da parede, e/ou considerando-se margens de segurança e tolerâncias de fabricação podem ser utilizadas. Elas todas chegam a resultados similares. Notadamente, elas colocam todas em evidência o fato de o diâmetro externo de estanqueidade D_{ext} é diretamente influenciada pelo limite elástico do material $R_{p0,2}$, o que torna possível sua

otimização.

O fato de modificar a natureza do metal que constitui as peças de ponteira 25, escolhendo-se um metal com limite elástico mais elevado oferece vantagens sobre a integralidade da coluna. Com efeito, a utilização de um metal de elevada resistência mecânica permite reduzir a seção de estanqueidade S_{seal} ($S_{\text{seal}} = \pi / 4 D_{\text{ext}}^2$). Essa medida apresenta a vantagem direta de reduzir as dimensões e, portanto, o peso das peças 25. Todavia, essa redução de peso é marginal sobre o conjunto da coluna montante e não justifica por ela sozinha utilizar um material nobre e cara para fabricar as peças 25. Todavia, além dessa vantagem direta, a redução da seção de estanqueidade das ponteiros 25 impacta o conjunto do dimensionamento da coluna montante através das equações dadas acima e permite, pela redução dos esforços sobre a tubulação principal e os condutos auxiliares, a redução das dimensões e do peso do conjunto dos elementos que constituem a coluna montante. Assim, a utilização de material nobre para fabricar uma parte escolhida da coluna montante permite se beneficiar de redução de peso sobre o conjunto dos elementos da coluna montante.

Além disso, de acordo com a invenção, para reduzir a seção de estanqueidade da ponteira 25, pode-se também reduzir o diâmetro interno D_{int} da ponteira 25. A redução do diâmetro interno permite, mantendo-se a espessura da parede constante, reduzir o diâmetro externo de estanqueidade de D_{ext} . Assim, cada uma das ponteiros 25 forma uma restrição da passagem interna no conduto auxiliar 7. Essa restrição provoca uma perda de carga suplementar no conduto auxiliar, que pode ser compensada por um ligeiro aumento do diâmetro interno das tubulações 7 em parte comum.

Os exemplos de dimensionamento de uma coluna montante apresentada a seguir permitem comparar e ilustrar as vantagens de uma coluna montante munida de uma ponteira 25 em titânio, de acordo com a invenção, em relação a uma coluna montante clássica.

No exemplo Nº 1, considera-se uma coluna montante, segundo a técnica anterior, na qual o diâmetro de passagem no interior dos condutos auxiliares é fixado em 101,6 mm (4 polegadas) e o material das ponteiros

machos 25 é escolhido em aço X80, possuindo um limite elástico mínimo de 552 MPa. O diâmetro externo D_{ext} das ponteiros 25 é cotado em 149,4 mm (5,88 polegadas). Uma coluna montante foi dimensionada com base nos dados principais de engenharia apresentados a seguir:

- 5 - profundidade de água: 3000 m
 - diâmetro externo da tubulação principal 4: 533,4 mm (21")
 - pressão de serviço dos condutos auxiliares 7 "Kill & choke": 103,42 MPa (1034 bar ou 15000 psi)
 - densidade máximo da lama de perfuração: 1,8 (15 ppg)
 - 10 - aço da tubulação principal e das linhas de segurança: X80 com limite elástico 552 MPa.
- As principais características da coluna montante que se obtêm são, a título indicativo, as seguintes:
- espessura da parede das tubulações 7 dos condutos auxiliares
 - 15 "Kill & choke": 24,2 mm
 - espessura da parede da tubulação principal: 22,5 mm
 - diâmetro dos flutuadores (segundo um cálculo aproximado): 1454 mm
 - massa total do riser: 3511 t, decomponível em 1895 t de aço e
 - 20 1616 t de espuma sintática (flutuadores)
 - peso na água: 113 t
 - tensão máxima na cabeça: 710 t

O preço aproximado dessa coluna é de 40 M\$, decomponível em 19 M\$ de aço e 21 M\$ de flutuadores. Esses preços são estimados com base em um custo médio das peças em aço de 10 \$/kg e de um custo médio

25 de 13 \$/kg de espuma sintática.

Os exemplos Nº 2 e Nº 3 propõem uma redução de diâmetro externo de estanqueidade D_{ext} da ponteira 25.

No exemplo Nº 2, substituiu-se o aço da ponteira macho 25 (e

30 ele somente) por uma liga de titânio com 6% de alumínio e 4% de vanádio (Ti-6-4) nitidamente mais resistente. O limite elástico mínimo do Ti-6-4 é com efeito de 830 MPa. Além disso, esse material se caracteriza por um excelen-

te comportamento no ambiente marinho e em presença de fluido ou gás carregados em H₂S e CO₂.

No exemplo Nº 3, além da utilização da ponteira 25 em liga de titânio, admite-se uma restrição da passagem de 12,7 mm (½") no interior da ponteira 25, isto é, o diâmetro D_{int} é reduzido a 88,9 mm (3,5").

Os resultados do dimensionamento das colunas montantes são apresentados na seguinte tabela:

Exem- plo	Diâmetro interno da ponteira 25	Mate- rial de ponteira 25	Espes- sura de ponteira 25	Diâmetro de es- tanquei- dade	Espessu- ra das tu- bulações K&C 7	Espessu- ra da tu- bulação principal 4	Diâme- tro dos flutua- dores
	mm	mm	mm	mm	mm	Mm	mm
Nº 1	101,6	Aço	23,9	149,4	24,2	22,5	1454
Nº 2	101,6	Titânio	11,3	124,2	21,5	20,5	1412
Nº 3	88,9	Titânio	9,9	108,7	20,3	19,4	1389

e as características globais da coluna montante são as seguintes:

Caso	Massa de aço	Massa de espuma	Massa de riser	Preço de aço	Preço de espuma	Preço total	Desvio de preço
	Tonelada	Tonelada	Tonelada	M\$	M\$	M\$	M\$
Nº 1	1895	1616	3511	19	21	40	---
Nº 2	1760	1512	3272	17,6	19,7	37,3	2,7
Nº 3	1693	1457	3150	16,9	18,9	35,9	4,1

Assim, mesmo se os algarismos acima não considerarem o sobrecusto de fabricação da ponteira 25 em titânio, material oneroso, os desvios indicados são muito significativos:

- a redução das espessuras de parede tornada possível pela diminuição dos esforços induzidos pela pressão interna nas linhas está diretamente na origem dos ganhos sobre a massa de aço da coluna montante;
- com compensação de flutuadores idêntica, portanto, com comportamento dinâmico da coluna montante desconectada similar, o diâmetro dos flutuadores, portanto, sua massa, se acham nitidamente reduzidos;

- os ganhos sobre o peso dos materiais se mostram em centenas de toneladas e em milhões de dólares. Eles não consideram as economias induzidas pela redução da massa da coluna sobre as operações (logística, manutenção, estocagem) que poderiam ser da mesma ordem;

5 - a coluna montante com uma ponteira em material de elevada resistência, segundo a invenção, apresenta desempenhos operacionais (envoltórios de funcionamento) tão bons senão melhores quanto à coluna montante de referência (comportamento dinâmico melhorado considerado na corrente menor).

10 A resistência à corrosão das ligas de titânio em ambientes agressivos (água do mar, fluidos petrolíferos, lamas de perfuração) é reputada como excelente. A questão do acoplamento galvânico entre a ponteira em titânio e o aço dos condutos auxiliar pode ser estudado, a fim de evitar qualquer risco de ataque rápido do aço, material menos nobre no plano eletro-
15 químico.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para alijar o peso de uma coluna montante para a perfuração de um poço no mar, a coluna comporta uma tubulação principal (4) que prolonga o poço (P) até um suporte flutuante (2), pelo menos um conduto auxiliar (7) sendo disposto paralelamente à tubulação principal, o conduto auxiliar que comporta trechos tubulares (7a, 7b) em aço ligados ponta a ponta, cada um desses trechos sendo ligado ao trecho adjacente, por intermédio de uma peça de ponteira (25), essa peça de ponteira sendo montada solidária sobre a extremidade de um trecho e montada por encaixe deslizante na extremidade de um outro trecho, meios de estanqueidade (27) sendo dispostos entre a peça de ponteira e o trecho no nível do encaixe deslizante, caracterizado pelo fato de se escolher um material que tem um limite elástico pelo menos 25% superior ao limite elástico do aço dos trechos tubulares para fabricar essa peça de ponteira (25) e pelo fato de se dimensionar a peça de ponteira (25) e a extremidade desses trechos, considerando-se o limite elástico desse material, de maneira a reduzir a seção de externa da peça de ponteira no nível dos meios de estanqueidade (27).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de poder se escolher o diâmetro interno da peça de ponteira inferior ao diâmetro interno dos trechos tubulares do conduto auxiliar.

3. Método, de acordo com uma das reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato de poder se escolher um material que tem um limite elástico pelo menos 49% superior ao limite elástico do aço dos trechos tubulares para compor essa peça de ponteira.

4. Coluna montante obtida por um método, como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada pelo fato de esse material ser composto de uma liga metálica que comporta pelo menos 80% em peso de titânio.

5. Coluna montante, de acordo com a reivindicação 4, caracterizada pelo fato de esse material ser escolhido dentre as ligas de titânio apresentadas a seguir: Ti-6-4 e Ti-6-6-2.

6. Coluna montante obtida por um método, como definido em

qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada pelo fato de esse material ser composto de um aço e de pelo menos a superfície interna dessa peça de ponteira ser revestida de uma camada de proteção contra a corrosão.

- 5 7. Coluna montante, de acordo com qualquer uma das reivindicações 4 a 6, caracterizada pelo fato de cada um desses trechos tubulares comporta um corpo tubular metálico guarnecido com aros por rolamentos de fibras revestidas de matriz polímero.

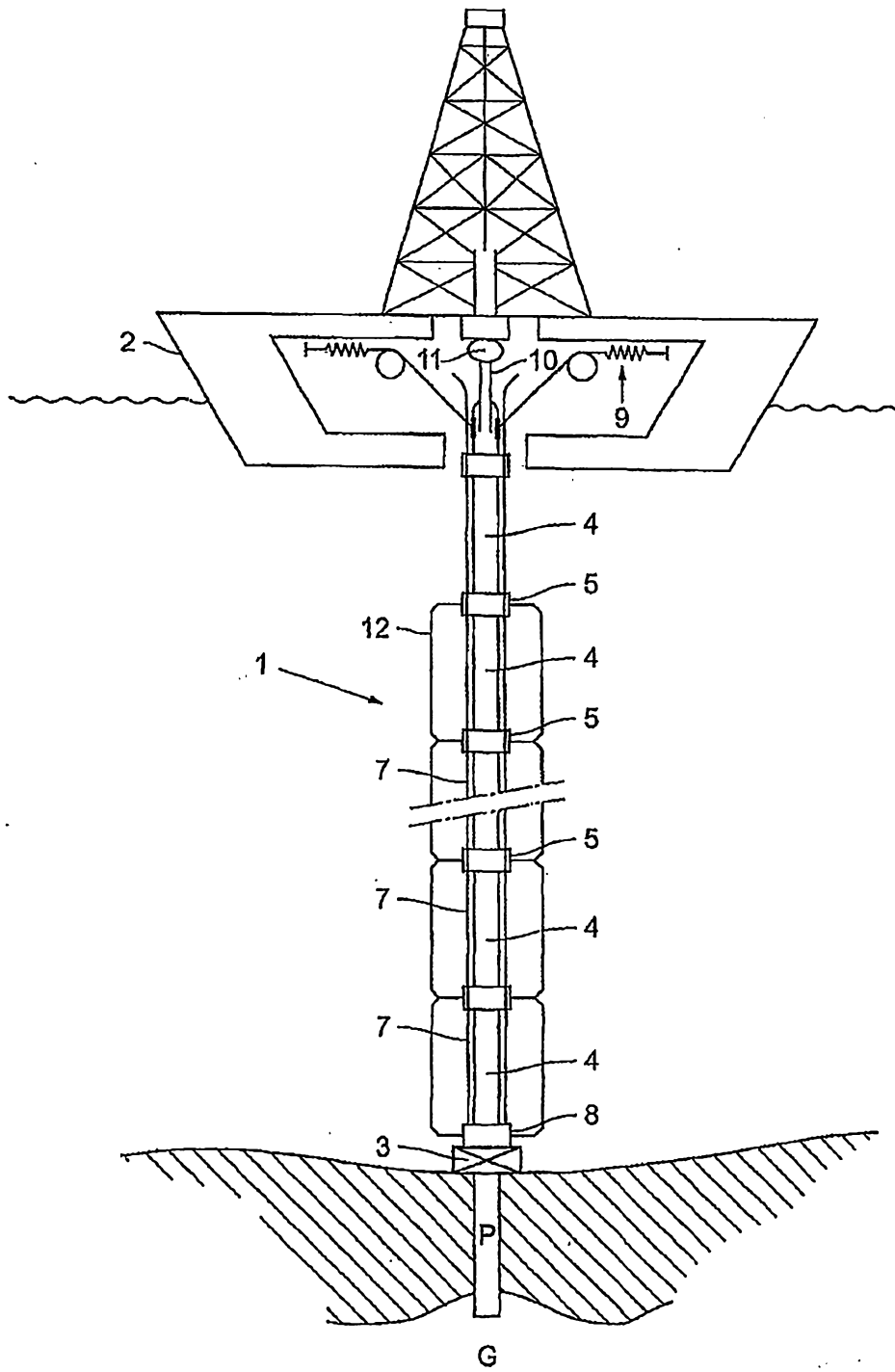


Fig.1

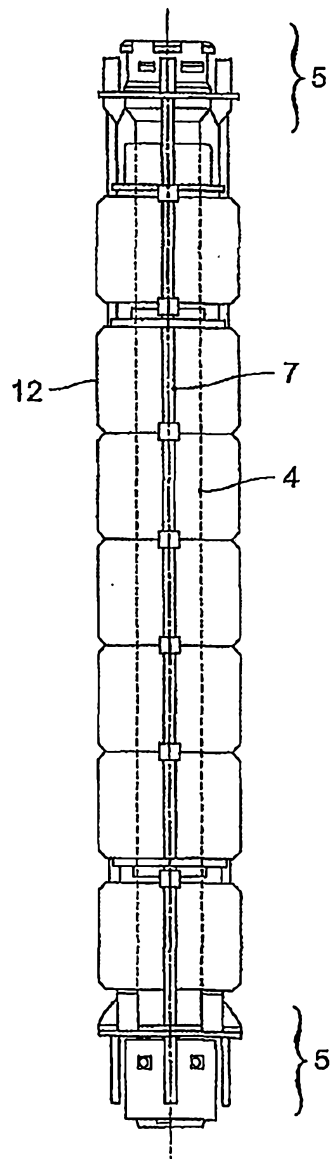


Fig.2

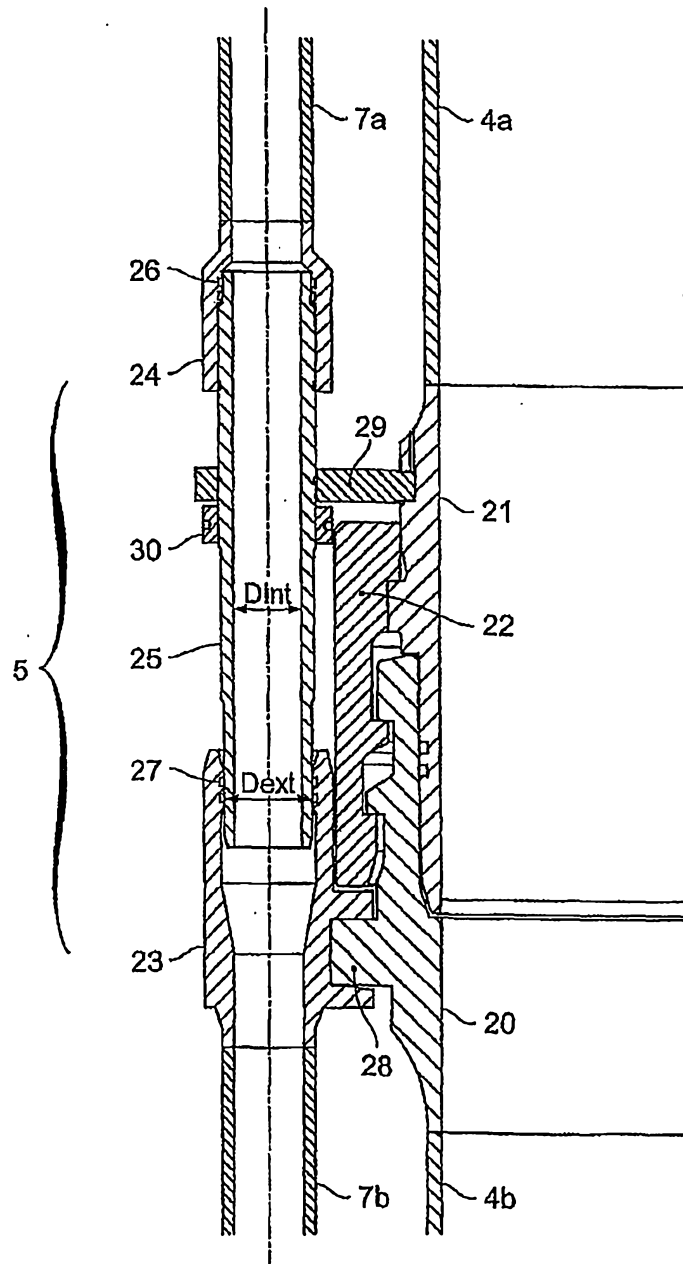


Fig.3