

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

(21) **PI 1104915-4 A2**

(22) Data de Depósito: 16/09/2011
(43) Data da Publicação: 26/03/2013
(RPI 2203)



(51) *Int.Cl.:*
F04D 13/00

(54) **Título:** APARELHO E MÉTODO PARA O CONTROLE DE VIBRAÇÃO DE UM TUBO ASCENDENTE DE UMA BOMBA VERTICAL

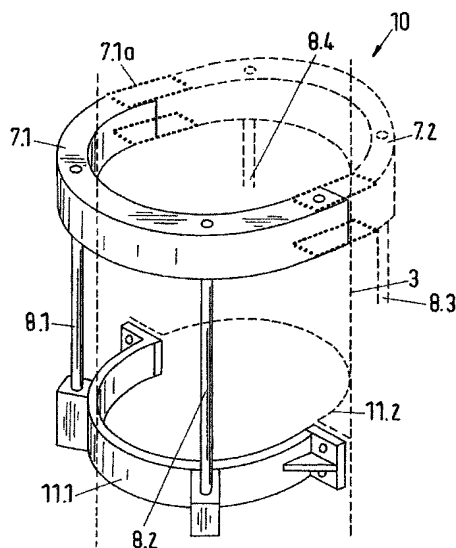
(30) **Prioridade Unionista:** 17/09/2010 EP 10 177472.7

(73) **Titular(es):** Sulzer Pumpen Ag

(72) **Inventor(es):** Tomas Pesek

(57) **Resumo:** Patente de Invenção: "APARELHO E MÉTODO PARA O CONTROLE DE VIBRAÇÃO DE UM TUBO ASCENDENTE DE UMA BOMBA VERTICAL".

A presente invenção refere-se a um aparelho (10) para o contro-le de vibração de um tubo ascendente (3) de uma bomba vertical, cuja bomba do ascensor é excitada para vibrações em operação e que tem uma direção longitudinal. O aparelho (10) pode ser posicionado para fora no tubo ascendente e inclui um elemento de vibração (7.1, 7.2), um ou mais elementos de mola (8.1 - 8.4) e um guia, em que o elemento de vibração tem uma abertura para circundar o tubo ascendente (3) e é mantido de maneira móvel e elástica pelo elemento ou elementos de mola (8.1 - 8.4) e em que o elemento de vibração (7.1, 7.2) é guiado pelo guia tal que os movimentos do elemento de vibração em operação são restritos aos movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"APARELHO E MÉTODO PARA O CONTROLE DE VIBRAÇÃO DE UM TUBO ASCENDENTE DE UMA BOMBA VERTICAL"**.

A presente invenção refere-se a um aparelho para o controle de
5 vibração de um tubo ascendente de uma bomba vertical de acordo com o preâmbulo da reivindicação 1 e a um método para o controle de vibração de um tubo ascendente de uma bomba vertical de acordo com o preâmbulo da reivindicação 10.

Para transportar meios líquidos de tanques e de posições de
10 remoção dispostas abaixo do nível do líquido, bombas verticais, que são baixadas dentro do tanque ou para baixo para a posição de remoção, são frequentemente usadas. A saída da bomba vertical é em regra conectada a um tubo ascendente através do qual o meio a ser transportado é enviado. O acionamento da bomba pode ser disposto, como usual com bombas de i-
15 mersão, na bomba vertical ou em uma parte superior do tubo ascendente, em que nesse caso o acionamento é conectado na bomba vertical através de um eixo de transmissão disposto no interior do tubo ascendente. A bomba vertical ou o tubo ascendente ou o acionamento podem ser presos na base do tanque ou na parede do tanque ou no topo do tanque ou um ou
20 mais dispositivos de fixação são providos que são tipicamente dispostos separados da posição de remoção.

O tubo ascendente ou a estrutura da bomba total pode ser estimulado para vibrações por forças de estímulo periódicas ou estocásticas que surgem durante a operação da bomba, as ditas vibrações sendo particular-
25 mente perturbadoras quando a frequência das vibrações é disposta na proximidade de uma frequência ressonante ou natural do tubo ascendente ou da estrutura da bomba, respectivamente. Com uma bomba vertical tendo um tubo ascendente, as vibrações principais são, como uma regra, horizontais ou radiais respectivamente à direção longitudinal do tubo ascendente tendo
30 um ou uma pluralidade de máximos e mínimos pronunciados ao longo do tubo ascendente. Além disso, a direção das vibrações pode mudar através do tempo em um plano horizontal, ou respectivamente, em um plano per-

pendicular à direção longitudinal do tubo ascendente.

O documento JP 2002 005097 A descreve um sistema para impedir vibrações para uma bomba de eixo vertical. O acionamento da bomba é instalado em uma plataforma de onde a bomba fica suspensa em um tanque em um tubo ascendente. O sistema para prevenir as vibrações é equipado com um amortecedor de vibração que é disposto entre a parte inferior da bomba e a base do tanque e absorve as vibrações da bomba e com um cilindro correção que conecta o amortecedor de vibração na base do tanque. Esse sistema tem a desvantagem que ele pode ser usado somente quando uma base do tanque ou outra superfície de base está disponível diretamente abaixo da bomba.

É o objetivo da invenção proporcionar um aparelho e um método para o controle de vibração de um tubo ascendente de uma bomba vertical que possa ser preso no tubo ascendente em qualquer momento sem mudanças serem necessárias no tubo ascendente ou na construção da bomba e que possa também ser usado quando nenhum ponto de ancoragem, tal como uma base do recipiente, está disponível na proximidade da bomba.

Esse objetivo é satisfeito de acordo com a invenção pelo aparelho definido na reivindicação 1 e pelo método definido na reivindicação 10.

O aparelho de acordo com a invenção para o controle de vibração de um tubo ascendente de uma bomba vertical, cujo tubo ascendente é excitado para vibrações em operação e que tem uma direção longitudinal, é caracterizado pelo fato de que o aparelho pode ser posicionado para fora no tubo ascendente ou para fora na bomba vertical; de que o aparelho inclui um elemento de vibração, um ou mais elementos de mola e um guia; de que o elemento de vibração tem uma abertura para circundar o tubo ascendente ou a bomba vertical e é mantido de maneira móvel e elástica pelo elemento ou elementos de mola e que o elemento de vibração é guiado pelo guia, tal que os movimentos do elemento de vibração são restritos em operação aos movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente. O elemento de vibração pode ser configurado, por exemplo, na forma anular, em que o eixo geométrico do elemento de vibração é típica-

mente disposto em paralelo à direção longitudinal do tubo ascendente em operação.

Em uma modalidade vantajosa, o aparelho adicionalmente inclui um suporte para firmar o aparelho no tubo ascendente, em que o elemento de vibração é elasticamente conectado no suporte através do elemento ou elementos de mola.

O aparelho e/ou o elemento de vibração e/ou o suporte é/são vantajosamente composto(s) de pelo menos duas partes ou duas metades que podem ser unidas a fim de firmar subsequentemente o aparelho no tubo ascendente.

Independentemente da modalidade, o aparelho inclui tipicamente três ou quatro ou mais elementos de mola.

Em uma modalidade vantajosa adicional, os elementos de mola são configurados como barras resilientes que são vantajosamente dispostas substancialmente em paralelo com a direção longitudinal do tubo ascendente em operação. As barras resilientes são tipicamente dispostas em paralelo ao eixo geométrico do elemento de vibração quando ele é configurado na forma anular.

Em uma modalidade vantajosa adicional, o aparelho adicionalmente inclui um ou mais elementos de amortecimento que são conectados no elemento de vibração e/ou no suporte.

A invenção ainda inclui um tubo ascendente para uma bomba vertical cujo tubo ascendente é provido com um ou mais aparelhos de acordo com uma ou mais das modalidades e variações acima descritas e também inclui uma bomba vertical tendo um tubo ascendente que é provido com um ou mais aparelhos, de acordo com uma ou mais modalidades e variações acima descritas.

No método de acordo com a invenção para o controle de vibração de um tubo ascendente de uma bomba vertical, o tubo ascendente é excitado para vibrações em operação, em que o tubo ascendente tem uma direção longitudinal. No método, um elemento de vibração é provido para o controle de vibração que circunda o tubo ascendente e que é mantido de

maneira móvel e elástica com relação ao mesmo por um ou mais elementos de mola, em que o elemento de vibração é guiado por um guia que restringe os movimentos do elemento de vibração a movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente, e em que o elemento de vibração e o elemento ou elementos de mola e o guia são dispostos para fora no tubo ascendente.

No método, um suporte é provido vantajosamente para firmar o elemento ou elementos de mola e/ou o guia no tubo ascendente, em que o elemento de vibração é elasticamente conectado no suporte através do elemento ou elementos de mola.

Em uma modalidade vantajosa do método, o elemento de vibração e o elemento ou elementos de mola têm uma massa ou uma constante de mola, respectivamente, e a massa do elemento de vibração e a constante de mola do elemento ou elementos de mola são selecionadas, tal que a amplitude ou amplitudes de vibração do tubo ascendente são reduzidas.

Em uma modalidade vantajosa adicional do método, o tubo ascendente em conjunto com o elemento de vibração ou respectivamente a bomba vertical tendo o tubo ascendente em conjunto com o elemento de vibração tem duas frequências naturais, em que a massa do elemento de vibração e a constante de mola do elemento de mola ou a soma das constantes de mola dos elementos de mola são selecionadas, de modo que a diferença entre a frequência natural respectiva e a frequência ressonante do tubo ascendente sem o controle da vibração ou respectivamente da bomba vertical tendo o tubo ascendente sem o controle de vibração equivale a pelo menos 10% ou pelo menos 20% da frequência ressonante indicada do tubo ascendente.

Independentemente das modalidades e variações descritas acima, a vibração do tubo ascendente pode ser adicionalmente amortecida por um ou mais elementos de amortecimento que são conectados no elemento de vibração.

O aparelho de acordo com a invenção e o método de acordo com a invenção para o controle de vibração de um tubo ascendente de uma

bomba vertical têm a vantagem que nenhum ponto de contato adicional e pontos de suporte são necessários para o controle de vibração e o aparelho pode ser preso subsequentemente em qualquer ponto desejado do tubo ascendente. O efeito é particularmente vantajoso quando o elemento de vibração provido no aparelho e no método é preso em uma região do tubo ascendente ou da bomba vertical na qual a amplitude de vibração tem um máximo.

O guia provido no aparelho e no método, além do que, tem a vantagem que vibrações indesejadas do elemento de vibração são evitadas e o controle de vibração do tubo ascendente é, dessa maneira, simplificado e melhorado.

A descrição acima das modalidades e variações serve somente como um exemplo. Modalidades vantajosas adicionais podem ser observadas a partir das reivindicações dependentes e do desenho. Além do que, aspectos individuais das modalidades e variações descritas ou mostradas podem também ser combinados uns com os outros dentro da estrutura da presente invenção para formar novas modalidades.

A invenção será explicada em mais detalhes no seguinte com referência às modalidades e ao desenho. São mostradas:

figura 1 um estado de vibração de uma bomba vertical convencional com um tubo ascendente vibrante,

figura 2 uma modalidade de um aparelho de acordo com a presente invenção,

figura 2A a modalidade da figura 2 com um elemento de vibração no estado flexionado,

figura 3 um corte através da modalidade da figura 2,

figuras 4A, 4B variações de modalidade para elementos de amortecimento para a modalidade da figura 2, e

figura 5 uma modalidade adicional de um aparelho de acordo com a presente invenção em corte, e

figura 6 uma representação esquemática de um modelo para um aparelho de acordo com a presente invenção.

A figura 1 mostra um estado de vibração de uma bomba vertical

convencional 2 tendo um tubo ascendente 3. A bomba vertical na disposição 1 mostrada, além do mais, inclui um acionamento 5 que é instalado em uma plataforma de fixação 6. A bomba 2 no tubo ascendente pode ficar suspensa da plataforma de fixação para dentro de um tanque, não mostrado, ou pode ser abaixada para uma posição de remoção. Onde requerido, a entrada da bomba vertical pode ser provida, além do mais, com um funil de sucção 2a. A disposição 1 mostrada na figura 1 é somente suportada através da plataforma de fixação 6, enquanto que a bomba vertical 2 e o tubo ascendente não têm suportes adicionais. O estado de vibração do tubo ascendente mostrado na figura 1 foi calculado por meio de análise modal usando a análise do elemento finito (FEA). As marcações 3.1a, 3.2a correspondem nesse aspecto com a posição do resto do tubo ascendente, enquanto os numerais de referência 3.1b, 3.2b indicam os pontos correspondentes do tubo ascendente no estado de vibração mostrado. A amplitude da vibração alcança um máximo 4 na disposição mostrada na figura 1 depois de aproximadamente um terço do comprimento do tubo ascendente, medido a partir da plataforma de fixação.

As figuras 2 e 3 mostram uma modalidade de um aparelho 10 de acordo com a invenção para o controle de vibração de um tubo ascendente 3 de uma bomba vertical, em que o tubo ascendente tem uma direção longitudinal e é excitado para vibrações em operação. O aparelho 10 pode ser posicionado, como mostrado nas figuras 2 e 3, para fora no tubo ascendente 3 ou em uma base de caso a caso para fora na bomba vertical e inclui um elemento de vibração 7, 7.1, 7.2, um ou mais elementos de mola 8, 8.1 – 8,4 e um guia, onde o elemento de vibração tem uma abertura para circundar o tubo ascendente 3 e é mantido de maneira móvel e elástica pelo elemento ou elementos de mola e onde o elemento de vibração 7, 7.1, 7.2 é guiado pelo guia, tal que os movimentos do elemento de vibração em operação são restritos aos movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente. O elemento de vibração pode ser configurado, por exemplo, como mostrado na figura 2, na forma anular, onde o eixo geométrico do elemento de vibração é tipicamente disposto em paralelo à direção longi-

tudinal do tubo ascendente em operação.

Em uma modalidade vantajosa, o aparelho 10 adicionalmente inclui um suporte 11, 11.1, 11.2 para firmar o aparelho no tubo ascendente 3, em que o elemento de vibração 7, 7.1, 7.2 é elasticamente conectado no
5 suporte através do elemento ou elementos de mola 8, 8.1 - 8.4.

O aparelho 10 e/ou o elemento de vibração 7.1, 7.2 e/ou o suporte 11.1, 11.2, como mostrado na figura 2, é/são vantajosamente composto(s) de pelo menos duas partes ou duas metades que podem ser unidas a fim de firmar subsequentemente o aparelho no tubo ascendente 3. As partes
10 7.1, 7.2 do elemento de vibração podem ser unidas, por exemplo, por meio de projeções 7.1a, enquanto que o suporte 11.1, 11.2 pode ser configurado como uma bráçadeira de tubo de duas partes.

Independentemente da modalidade ou variação, o aparelho tipicamente inclui três ou quatro ou mais elementos de mola 8, 8.1 - 8.4 que são
15 normalmente dispostos uniformemente distribuídos, isto é, em intervalos angulares respectivamente iguais, sobre a periferia do suporte 11, 11.1, 11.2.

Em uma modalidade vantajosa adicional, os elementos de mola 8, 8.1 - 8.4 são configurados, como mostrado nas figuras 2 e 3, como barras resilientes que são vantajosamente dispostas substancialmente em paralelo
20 à direção longitudinal do tubo ascendente 3 em operação. As barras resilientes são tipicamente dispostas em paralelo ao eixo geométrico do elemento de vibração 7, 7.1, 7.2 quando ele é configurado na forma anular. A modalidade dos elementos de mola como barras resilientes tem a vantagem de que eles não somente agem como elementos de mola 8.1 - 8.4, mas que as barras
25 resilientes podem também ser usadas como um guia que restringe os movimentos do elemento de vibração em operação para movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente. Se três ou mais barras resilientes são providas que são alinhadas em paralelo, são de comprimento igual e são distribuídas sobre a periferia do suporte 11.1, 11.2,
30 de modo que o intervalo angular entre barras adjacentes não é maior do que 150°, as barras agem, nas deflexões do elemento de vibração 7.1, 7.2, como um guia de paralelogramo que impede movimentos de inclinação com rela-

ção à direção longitudinal do tubo ascendente.

Em uma modalidade vantajosa adicional, o aparelho 10 adicionalmente inclui um ou mais elementos de amortecimento que são conectados no elemento de vibração 7 e/ou no suporte 11. As figuras 4A e 4B mostram variações de modalidade para os elementos de amortecimento 12.1, 12.2, 12.3 para a modalidade da figura 2. É feita referência à descrição acima mencionada das figuras 2 e 3 com respeito aos detalhes e modalidades com relação ao aparelho 10. Um elemento de amortecimento 12.1 pode ser disposto, como mostrado na figura 4A, por exemplo, entre o tubo ascendente 3 e a massa vibracional 7. O elemento de amortecimento 12.1 pode ser configurado, sob esse aspecto, como um anel concêntrico ou pode incluir uma pluralidade de elementos de amortecimento separados que são distribuídos sobre o lado interno do elemento de vibração virado para o tubo ascendente. Nesse caso, os elementos de amortecimento 12.1 são tipicamente distribuídos uniformemente sobre a periferia do tubo ascendente.

Entretanto, o elemento de amortecimento pode também ser configurado, como mostrado na figura 4A, como um tubo 12.2 que é disposto concêntrico ao tubo ascendente e que parcial ou completamente envolve os elementos de mola 8 quando requerido. O elemento de amortecimento pode ainda ser configurado, como mostrado na figura 4B, como uma luva 12.3 que é disposta concêntrica ao tubo ascendente e que parcial ou completamente envolve os elementos de mola 7.

As variações da modalidade acima descrita para os elementos de amortecimento podem ser usadas individualmente ou como uma combinação de duas ou três das variações da modalidade. Os elementos de amortecimento 12.1, 12.2, 12.3 contêm vantajosamente um material de amortecimento ou uma estrutura de amortecimento, por exemplo, uma espuma, que é molhada e preferivelmente circundada por um líquido viscoso, ou um tecido de arame ou rede de arame que pode ser envolvido como requerido.

A figura 2A mostra a modalidade da figura 2 com um elemento de vibração 7.1 no estado flexionado, em que o aparelho 10 mostrado lá inclui duas metades, das quais somente uma metade é mostrada na figura 2A,

para o controle de vibração de um tubo ascendente de uma bomba vertical. A metade não mostrada é estruturada com simetria refletida e flexionada, como mostrado na figura 2A na mesma direção com relação à posição de repouso. Na figura 2A, os eixos geométricos das coordenadas X e Y são indicados, além do mais, para a posição do elemento de vibração 7.1 com relação à posição de repouso do tubo ascendente e os eixos geométricos das coordenadas X_j e Y_j são indicados para o ponto do tubo ascendente no qual o prendedor 11.1 é firmado.

A figura 5 mostra uma modalidade adicional de um aparelho 10 de acordo com a invenção para o controle de vibração de um tubo ascendente 3 de uma bomba vertical, em que o tubo ascendente tem uma direção longitudinal e é excitado para vibrações em operação. O aparelho 10 pode ser posicionado, como mostrado na figura 5, para fora no tubo ascendente 3 e inclui um elemento de vibração 7, um ou mais elementos de mola 8 e um guia 9, em que o elemento de vibração tem uma abertura para circundar o tubo ascendente 3 e é mantido de maneira móvel e elástica pelo elemento ou elementos de mola e onde o elemento de vibração 7 é guiado pelo guia 9, tal que os movimentos do elemento de vibração em operação são restritos aos movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente. O elemento de vibração 7 é tipicamente provido, como na figura 5, com uma abertura circular que pode ser disposta concêntrica ao tubo ascendente no estado de repouso. O elemento de vibração 7 inclui vantajosamente uma parte que se estende de modo axial, por exemplo, uma parte cilíndrica, e uma parte que se estende de modo radial, por exemplo, na forma de uma placa em formato de anel, que é conectada na parte que se estende de modo axial.

Em uma modalidade vantajosa, o aparelho 10 inclui adicionalmente um suporte 11, com o qual o aparelho pode ser firmado no tubo ascendente 3, em que o elemento de vibração 7 é elasticamente conectado no suporte através do elemento ou elementos de mola 8. Em uma variação de modalidade vantajosa, o suporte 11 é configurado, como mostrado na figura 5, simultaneamente como um guia, por exemplo, em que uma ou mais su-

perfícies de guia estendidas de modo radial 9 são providas no suporte para restringir os movimentos do elemento de vibração 7 em operação para movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente. A superfície ou superfícies de guia 9 pode(m) ser configurada(s) como superfícies deslizantes, por exemplo, em que são providas com um suporte deslizável, por exemplo, um suporte de Teflon.

O aparelho 10 e/ou o elemento de vibração 7 e/ou o suporte 11 é/são vantajosamente composto(s) de pelo menos duas partes ou duas metades que podem ser unidas a fim de firmar subsequentemente o aparelho no tubo ascendente 3. As partes do elemento de vibração podem ser unidas, por exemplo, por meio de projeções, enquanto que o suporte 11.1, 11.2 pode ser configurado como uma braçadeira de tubo de duas partes.

Independentemente da modalidade ou variação, o aparelho pode incluir três ou quatro ou mais elementos de mola 8 que são pré-esticados como requerido e são normalmente dispostos uniformemente distribuídos, isto é, em intervalos angulares respectivamente iguais, sobre a periferia do suporte 11. Entretanto, também é possível produzir um anel deformável elástico como o elemento de mola que é disposto entre o elemento de vibração 7 e o suporte 11.

Em uma modalidade vantajosa adicional, o aparelho 10 adicionalmente inclui um ou mais elementos de amortecimento 12 que são conectados no elemento de vibração 12 e/ou no suporte 11. Três ou quatro ou mais elementos de mola/amortecimento podem ser providos, por exemplo, que são tipicamente dispostos uniformemente distribuídos, isto é, em intervalos angulares iguais respectivos sobre a periferia do suporte 11. Entretanto, também é possível prover um anel viscoelástico como o elemento de mola/amortecimento que é disposto entre o elemento de vibração 7 e o suporte 11 e que pode conter, por exemplo, um tecido de arame cheio com um líquido viscoso. Além dessas possibilidades ou ao invés delas, o guia ou as superfícies de guia 9 podem ser usadas como elementos de amortecimento em que elas são providas com um atrito controlado, por exemplo.

A invenção, além disso, inclui um tubo ascendente 3 para uma

bomba vertical, cujo tubo ascendente é provido com um ou mais aparelhos 10 de acordo com uma ou mais das modalidades e variações acima descritas e também inclui uma bomba vertical tendo um tubo ascendente 3, o dito tubo ascendente e a dita bomba vertical tendo um tubo ascendente sendo 5 provido com um ou mais aparelhos 10 de acordo com uma ou mais das modalidades e variações acima descritas.

O método de acordo com a invenção para o controle de vibração de um tubo ascendente de uma bomba vertical será descrito a seguir com referência às figuras 2, 2A e 3. No método, o tubo ascendente 3 é excitado 10 para vibrações em operação, em que o tubo ascendente tem uma direção longitudinal. Para o controle de vibração, um elemento de vibração 7, 7.1, 7.2 é provido que circunda o tubo ascendente 3 e que é mantido de maneira móvel e elástica com relação a ele por um ou mais elementos de mola 8, 8.1 - 8.4, em que o elemento de vibração 7, 7.1, 7.2 é guiado por um guia que 15 restringe os movimentos do elemento de vibração aos movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente 3 e onde o elemento de vibração 7, 7.1, 7.2 e o elemento ou elementos de mola 8, 8.1 - 8.4 e o guia são dispostos para fora no tubo ascendente.

No método, um suporte 11, 11.1, 11.2 é provido vantajosamente 20 pelo qual o elemento ou elementos de mola 8, 8.1 - 8.4 e/ou o guia são firmados no tubo ascendente 3, em que o elemento de vibração 7, 7.1, 7.2 é elasticamente conectado no suporte 11, 11.1, 11.2 através do elemento ou elementos de mola 8, 8.1 - 8.4.

Em uma modalidade vantajosa do método, o elemento de vibração 7, 7.1, 7.2 e o elemento ou elementos de mola 8, 8.1 - 8.4 têm uma 25 massa m ou uma constante de mola k , respectivamente, e a massa m do elemento de vibração e a constante de mola k do elemento ou elementos de mola são selecionadas, tal que a amplitude ou amplitudes de vibração do tubo ascendente 3 são reduzidas.

30 Em uma modalidade vantajosa adicional do método, o tubo ascendente 3 em conjunto com o elemento de vibração ou respectivamente a bomba vertical tendo o tubo ascendente em conjunto com o elemento de

vibração 7, 7.1, 7.2 tem duas frequências naturais f_1, f_2 em que a massa m do elemento de vibração e a constante de mola k do elemento de mola ou a soma das constantes de mola dos elementos de mola são selecionadas de modo que a diferença Δf entre a frequência natural respectiva f_1, f_2 e a frequência ressonante original f_m do tubo ascendente sem o controle da vibração equivale a pelo menos 10% ou pelo menos 20% da frequência ressonante indicada f_m do tubo ascendente.

O projeto do aparelho para o controle de vibração de um tubo ascendente de uma bomba vertical e especificamente a determinação da massa m do elemento de vibração e da constante de mola k dos elementos de mola tipicamente inclui duas etapas. Em uma primeira etapa, o comportamento de vibração do tubo ascendente é determinado sem o controle da vibração e em uma segunda etapa, o comportamento de vibração do tubo ascendente com o controle de vibração.

O comportamento de vibração original do tubo ascendente sem um controle de vibração pode ser caracterizado dinamicamente pela frequência ressonante, isto é, o tubo ascendente é entendido como um vibrador de massa tendo a equação do parâmetro modal

$$M_m \cdot \ddot{q} + K_m \cdot q = \sum_j \alpha_{m,j} \cdot F_j(t)$$

e os parâmetros modais

M_m = massa modal da bomba vertical tendo um tubo ascendente

K_m = dureza modal da bomba vertical tendo um tubo ascendente

$\alpha_{m,j}$ = eigenvetor (deslocamento ou rotação) no ponto j do tubo ascendente no qual a força $F_j(t)$ é efetiva

$F_j(t)$ = força de excitação externa ou torque que age na bomba de elevação no ponto j

e $q(t)$ = coordenada generalizada.

Os parâmetros modais $M_m, K_m, \alpha_{m,j}$ podem ser determinados por meio da análise modal clássica, isto é, por meio do estímulo da vibração do tubo ascendente e a medição da resposta da vibração ou de maneira puramente matemática por meio da análise do elemento finito (FEA) do tubo as-

cendente.

A frequência ressonante original f_m do tubo ascendente sem o controle da vibração pode ser calculada a partir dos parâmetros modais M_m e K_m determinados nessa maneira usando a fórmula seguinte:

$$f_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_m}{M_m}}$$

5 O modelo seguinte, que será explicado em mais detalhes a seguir com referência à figura 6, pode ser usado para a determinação do comportamento da vibração do tubo ascendente. O modelo inclui uma linha de elevação 3 tendo uma direção longitudinal ou uma direção axial Z, um suporte 11 que é preso na linha de elevação, um elemento de mola 8 tendo a
10 constante de mola k e um elemento de vibração 7 tendo a massa m que é acoplada no suporte através do elemento de mola. Na figura 6, nenhum guia é desenhado que limita os movimentos do elemento de vibração 7 em operação aos movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente.

15 Ao invés disso, a coordenada Z do elemento de vibração é definida igual a zero no modelo, isto é, o modelo assume que nenhum movimento do elemento de vibração na direção Z ocorre.

As vibrações do elemento de vibração 7 são caracterizadas pelas funções $X(t)$ e $Y(t)$, enquanto que as vibrações do suporte 11 na posição j
20 do tubo ascendente são fornecidas pelas funções $X_s(t)$ e $Y_s(t)$. As funções $X_s(t)$ e $Y_s(t)$ podem ser transformadas como segue sob esse aspecto:

$$X_s(t) = X_j \cdot q(t) \text{ e } Y_s(t) = Y_j \cdot q(t)$$

em que X_j , Y_j = deslocamento padronizado no ponto j do tubo ascendente sem o controle de vibração

25 $q(t)$ = coordenada do movimento generalizado para o tubo ascendente sem o controle da vibração

Por razões de simplicidade, somente as vibrações $X_s(t)$ e $X(t)$ do elemento de vibração 7 e do suporte 11 são mostradas na direção X na figura 6.

Se nenhuma força externa age no tubo ascendente equipado com o elemento de vibração 7 e se a massa m_s do suporte 11 é considerada, o sistema seguinte livremente vibrante é obtido para o modelo:

$$\begin{bmatrix} M_m^* & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{q} \\ \ddot{X} \\ \ddot{Y} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} K_m^* & -k \cdot X_j & -k \cdot Y_j \\ -k \cdot X_j & k & 0 \\ -k \cdot Y_j & 0 & k \end{bmatrix} \begin{pmatrix} q \\ X \\ Y \end{pmatrix} = 0$$

com os parâmetros auxiliares

$$M_m^* = M_m + m_s \cdot (X_j^2 + Y_j^2)$$

$$K_m^* = K_m + k_s \cdot (X_j^2 + Y_j^2)$$

5 e os parâmetros modais

M_m = massa modal da bomba vertical com o tubo ascendente

K_m = dureza modal da bomba vertical tendo um tubo ascendente

X_j, Y_j = deslocamentos padronizados ou, em uma base de caso

por caso, rotações no ponto j do tubo ascendente no qual o elemento vibrante

10 te está preso

e $q(t)$ = coordenada do movimento generalizado

m_s = massa do suporte

m = massa do elemento de vibração

k = constante de mola do elemento de mola

15 As frequências naturais f_1, f_2 do sistema acima são convenientemente determinadas para o projeto do controle de vibração. Elas resultam da equação condicional:

$$\omega^4 - \left(\frac{K_m^*}{M_m^*} + \frac{k}{m} \right) \omega^2 + \frac{k}{m} \left(\frac{K_m^*}{M_m^*} - \frac{k}{M_m^*} (X_j^2 + Y_j^2) \right) = 0$$

em que ω = frequência circular do sistema

Essa equação condicional tem duas soluções positivas ω_1^2 e ω_2^2 ,

20 das quais as frequências naturais f_1, f_2 podem ser determinadas usando as relações

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \omega_1 \quad \text{e} \quad f_2 = \frac{1}{2\pi} \omega_2$$

Para o projeto do controle de vibração e especificamente para

suprimir as frequências naturais, a massa modal M_m é necessária da bomba vertical tendo o tubo ascendente, a dureza modal K_m e os deslocamentos X_j , Y_j no ponto j do tubo ascendente no qual o elemento de vibração está preso, bem como a massa m do elemento de vibração 7, a constante de mola k do elemento de mola 8 e, em uma base de caso a caso, a massa m_s do suporte 11. Os parâmetros m , k e m_s são vantajosamente selecionados ou adaptados de modo que

- a ressonância é suprimida na frequência ressonante original f_m do tubo ascendente e
- o intervalo da frequência entre a frequência natural respectiva f_1 , f_2 e a frequência ressonante original f_m do tubo ascendente ou, em uma base de caso a caso, a frequência de estimulação é grande o suficiente.

Essas condições são normalmente satisfeitas quando o intervalo da frequência entre a frequência natural respectiva f_1 , f_2 e a frequência ressonante original f_m do tubo ascendente ou, em uma base de caso a caso, da frequência de estimulação equivale a pelo menos 10% ou pelo menos 20% da frequência ressonante indicada f_m do tubo ascendente ou da frequência de estimulação respectivamente.

Para manter a massa m do elemento de vibração 7 pequena, além disso, é vantajoso fixar o elemento de vibração em uma região do tubo ascendente 3 ou da bomba vertical na qual a amplitude da vibração tem um máximo.

Independentemente das modalidades e variações descritas acima, as vibrações do tubo ascendente 3 podem ser adicionalmente amortecidas por um ou mais elementos de amortecimento 12, 12.1 – 12.3, que são conectados no elemento de vibração 7, 7.1, 7.2. Os elementos de amortecimento são acima de tudo vantajosos quando o tubo ascendente ou a bomba vertical tendo o tubo ascendente é estimulado por forças de estimulação estocásticas ou periódicas que têm uma maior largura da banda de frequência e que também incluem as frequências naturais f_1 , f_2 . Nesse caso, as ressonâncias nas frequências naturais f_1 , f_2 não podem ser evitadas. Graças aos elementos de amortecimento, é possível amortecer efetivamente as resso-

nâncias nas frequências naturais f_1 , f_2 .

- As modalidades e variações descritas do aparelho, de acordo com a invenção, e do método, de acordo com a invenção, para o controle de vibração de um tubo ascendente de uma bomba vertical têm a vantagem
- 5 que vibrações perturbadoras podem ser suprimidas ou amortecidas em uma ampla faixa de frequência e que, para essa finalidade, nenhum ponto de contato adicional ou ponto de suporte é necessário além do suporte originalmente provido da linha de elevação e/ou da bomba vertical. O guia provido no aparelho e no método, além disso, tem a vantagem que as vibrações
- 10 indesejadas do elemento de vibração são evitadas e o controle de vibração do tubo ascendente é dessa maneira melhorado.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para o controle de vibração de um tubo ascendente (3) de uma bomba vertical, cujo tubo ascendente é excitado para vibrações em operação e que tem uma direção longitudinal, caracterizado pelo fato de
5 que o aparelho (10) pode ser posicionado para fora no tubo ascendente; de que o aparelho inclui um elemento de vibração (7, 7.1, 7.2), um ou mais elementos de mola (8, 8.1 - 8.4) e um guia (9); de que o elemento de vibração tem uma abertura para circundar o tubo ascendente e é mantido de maneira móvel e elástica pelo elemento ou elementos de mola e de que o elemento
10 de vibração (7, 7.1, 7.2) é guiado pelo guia (9), tal que os movimentos do elemento de vibração em operação são restritos aos movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente.

2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, adicionalmente incluindo um suporte (11, 11.1, 11.2) para firmar o aparelho (10) no tubo ascendente (3), em que o elemento de vibração (7, 7.1, 7.2) é elasticamente
15 conectado no suporte através do elemento ou elementos de mola (8, 8.1 - 8.4).

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, no qual o elemento de vibração (7, 7.1, 7.2) é configurado em forma anular.

20 4. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, no qual o aparelho (10) e/ou o elemento de vibração (7, 7.1, 7.2) e/ou o suporte (11, 11.1, 11.2) é/são vantajosamente composto(s) de pelo menos duas partes ou duas metades que podem ser unidas para firmar subsequentemente o aparelho (10) no tubo ascendente (3).

25 5. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, no qual o aparelho (10) inclui três ou quatro ou mais elementos de mola (8, 8.1 - 8.4).

6. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, no qual os elementos de mola (8, 8.1 - 8.4) são configurados
30 como barras resilientes que são dispostas substancialmente em paralelo com a direção longitudinal do tubo ascendente (3) em operação e, em particular, em paralelo ao eixo geométrico do elemento de vibração (7, 7.1, 7.2)

quando ele é configurado na forma anular.

7. Aparelho adicionalmente incluindo um ou mais elementos de amortecimento (12, 12.1 – 12.3) que são conectados no elemento de vibração (7, 7.1, 7.2) e/ou no suporte (11, 11.1, 11.2).

5 8. Tubo ascendente (3) para uma bomba vertical cujo tubo ascendente é provido com um ou mais aparelhos (10) como definidos em qualquer uma das reivindicações 1 a 7.

9. Bomba vertical (1) tendo um tubo ascendente, a dita bomba vertical e o dito tubo ascendente sendo providos com um ou mais aparelhos
10 (10) como definidos em qualquer uma das reivindicações 1 a 7.

10. Método para o controle de vibração de um tubo ascendente (3) de uma bomba vertical, cujo tubo ascendente é excitado para vibrações em operação e que tem uma direção longitudinal, caracterizado pelo fato de que um elemento de vibração (7, 7.1, 7.2) é provido para o controle de vibração que circunda o tubo ascendente (3) e que é mantido de maneira móvel e elástica com relação ao mesmo por um ou mais elementos de mola (8, 8.1 – 8.4), de que o elemento de vibração (7, 7.1, 7.2) é guiado por um guia (9) que restringe os movimentos do elemento de vibração a movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente, e de que o
15 elemento de vibração (7, 7.1, 7.2) e o elemento ou elementos de mola (8, 8.1 – 8.4) e o guia (9) são dispostos para fora no tubo ascendente (3).

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, no qual um suporte (11, 11.1, 11.2) é provido por meio do qual o elemento ou elementos de mola (8, 8.1 – 8.4) e/ou o guia (9) é/são preso(s) no tubo ascendente (3),
25 em que o elemento de vibração (7, 7.1, 7.2) é elasticamente conectado ao suporte através dos elementos de mola (8, 8.1 – 8.4).

12. Método, de acordo com a reivindicação 10 ou 11, no qual o elemento de vibração (7, 7.1, 7.2) tem uma massa (m) e o elemento ou elementos de mola (8, 8.1 – 8.4) têm uma dureza (k) e a massa do elemento de vibração e a dureza do elemento ou dos elementos de mola são selecionadas, tal que a amplitude ou as amplitudes de vibração do tubo ascendente
30 (3) sejam reduzidas.

13. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 12, no qual o tubo ascendente (3) tem duas frequências naturais (f_1 , f_2) em conjunto com o elemento de vibração (7.1, 7.2) e no qual a massa (m) do elemento de vibração e a dureza (k) do elemento de mola (8, 8.1 – 8.4) ou a soma das durezas dos elementos de mola são selecionadas, de modo que a diferença (Δf) entre a frequência natural respectiva (f_1 , f_2) e a frequência ressonante original (f_m) do tubo ascendente sem o controle da vibração equivale a pelo menos 10% ou pelo menos 20% da frequência ressonante indicada (f_m) do tubo ascendente.
14. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 13, no qual a vibração do tubo ascendente (3) é adicionalmente amortecida por um ou mais elementos de amortecimento (12, 12.1 – 12.3) que são conectados no elemento de vibração (7, 7.1, 7.2).

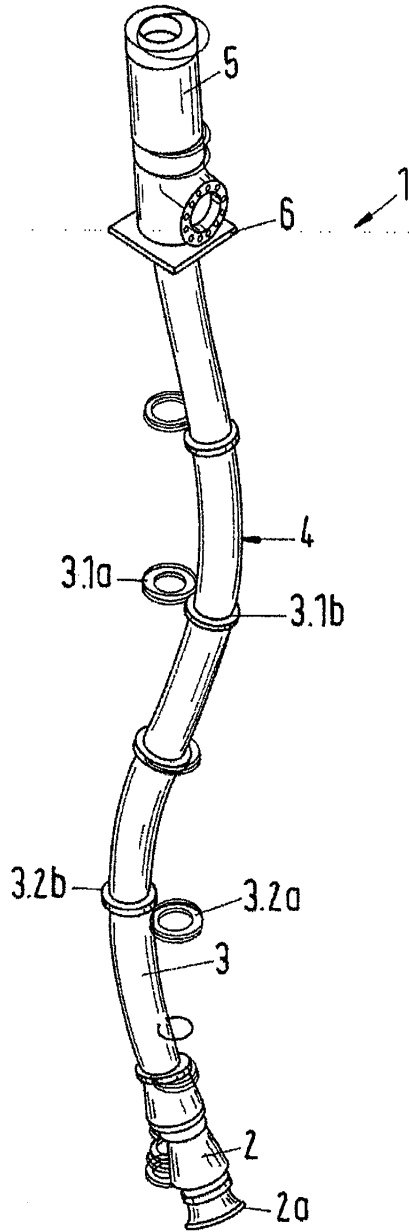


Fig.1

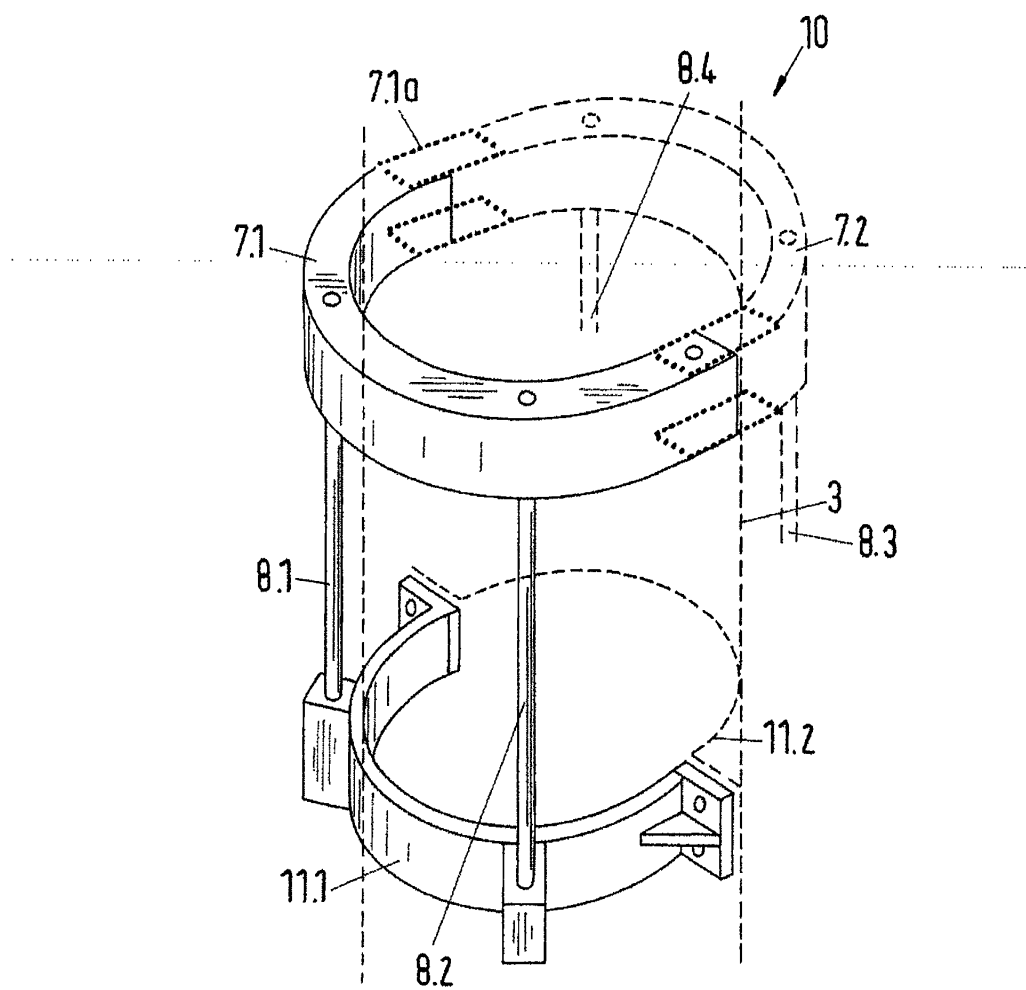


Fig.2



Fig.2A

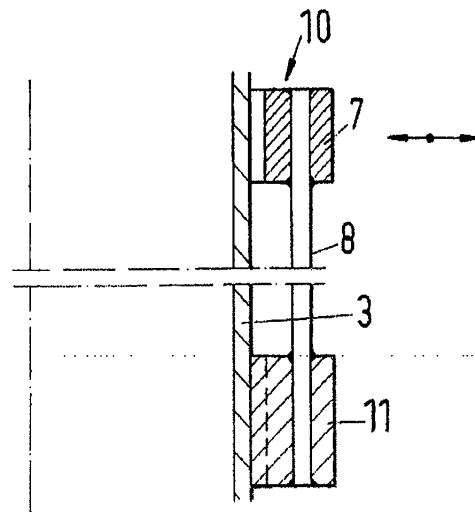


Fig. 3

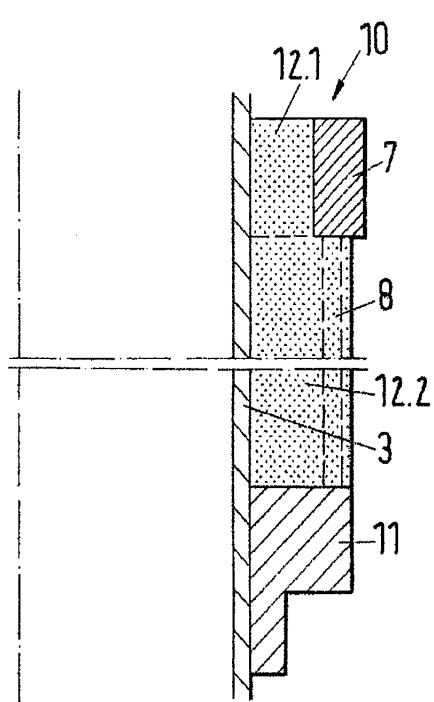


Fig. 4A

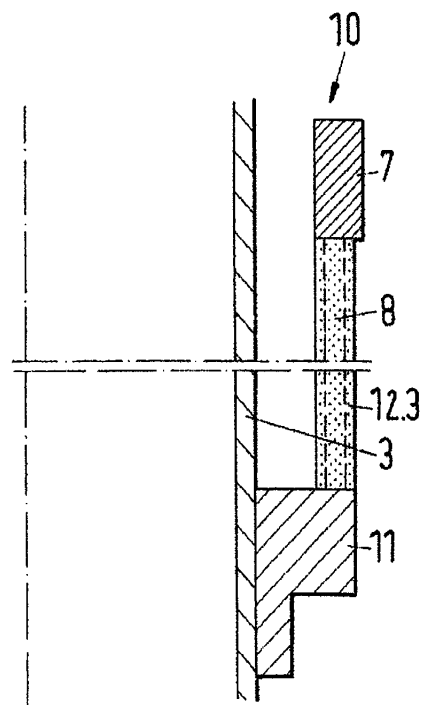


Fig. 4B

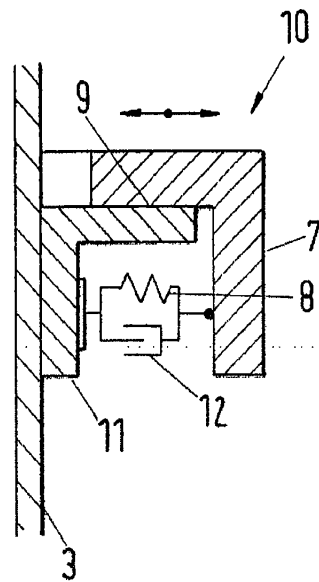


Fig.5

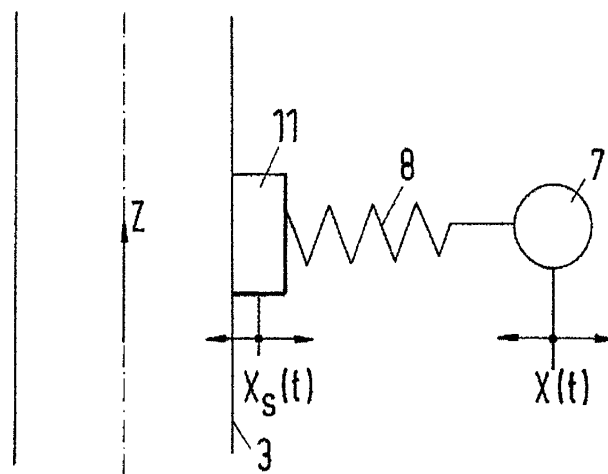


Fig.6

RESUMO

Patente de Invenção: **"APARELHO E MÉTODO PARA O CONTROLE DE VIBRAÇÃO DE UM TUBO ASCENDENTE DE UMA BOMBA VERTICAL"**.

A presente invenção refere-se a um aparelho (10) para o controle de vibração de um tubo ascendente (3) de uma bomba vertical, cuja bomba do ascensor é excitada para vibrações em operação e que tem uma direção longitudinal. O aparelho (10) pode ser posicionado para fora no tubo ascendente e inclui um elemento de vibração (7.1, 7.2), um ou mais elementos de mola (8.1 – 8.4) e um guia, em que o elemento de vibração tem uma abertura para circundar o tubo ascendente (3) e é mantido de maneira móvel e elástica pelo elemento ou elementos de mola (8.1 - 8.4) e em que o elemento de vibração (7.1, 7.2) é guiado pelo guia tal que os movimentos do elemento de vibração em operação são restritos aos movimentos em um plano perpendicular à direção longitudinal do tubo ascendente.