



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

(21) **PI 0616912-0 A2**

(22) Data de Depósito: 04/10/2006  
(43) Data da Publicação: 02/01/2013  
(RPI 2191)



(51) *Int.Cl.:*  
E21B 43/12  
F04D 29/04  
F16C 39/06

(54) **Título:** APARELHO E MÉTODO PARA CONTROLAR A ALIMENTAÇÃO DE GÁS BARREIRA A UM MÓDULO COMPRESSOR

(30) **Prioridade Unionista:** 07/10/2005 NO 20054620

(73) **Titular(es):** AKER KVAERNER SUBSEA AS

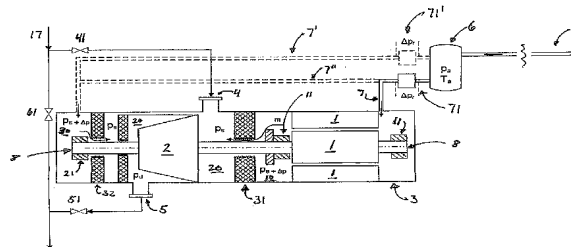
(72) **Inventor(es):** Audun Grynning, Hakon Skofteland, Kjell Olav Stinessen

(74) **Procurador(es):** Momsen, Leonardos & CIA.

(86) **Pedido Internacional:** PCT NO2006000341 de 04/10/2006

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/043889de 19/04/2007

(57) **Resumo:** APARELHO E MÉTODO PARA CONTROLAR A ALIMENTAÇÃO DE GÁS A UM MÓDULO COMPRESSOR. Aparelho para controlar o fornecimento de gás barreira a um módulo compressor compreendendo uma câmara de pressão (3) contendo motor elétrico (1) que através de um eixo (8) é propulsivamente conectado com compressor (2). O (8) é suportado por mancais magnéticos (11,21) e pelo menos uma vedação axial (31) em torno do eixo (8) que divide a câmara de pressão em um primeiro compartimento (10) encerrando o motor (1) e um segundo compartimento (20) encerrando o compressor (2), o segundo compressor (20) compreendendo uma entrada (4) e uma saída (5) para fluido que deve ser comprimido. Uma linha (7) é fluidamente conectada com primeiro compartimento (10) para o fornecimento de gás barreira proveniente de um reservatório (6) e existe um dispositivo limitador de fluxo (71) na linha entre o reservatório(6) e o primeiro compartimento (10). O aparelho facilita um método para controlar o fornecimento barreira na base da velocidade de gás barreira requerida (vg) através da vedação (31; 32) e da pressão (ps) no segundo compartimento (20). Uma sobrepressão (pa) pode ser estabelecida no reservatório (6) e um fornecimento controlado de gás barreira pelo menos ao primeiro (10) compartimento é efetuado com auxílio do estrangulamento de fluxo (71, 71) no tubo de alimentação (7; 7).



“APARELHO E MÉTODO PARA CONTROLAR A ALIMENTAÇÃO DE GÁS BARREIRA A UM MÓDULO COMPRESSOR”.

A invenção trata de módulos compressores pra comprimir gases de hidrocarboneto em uma corrente de poço, e mais especificamente trata de um módulo compressor compreendendo uma câmara de pressão, um compressor e um motor separados por um elemento vedante, conforme exposto em maior detalhe no preâmbulo das reivindicações independentes 1, 2 e 8. A invenção é especialmente apropriada para aplicação em módulos compressores submarinos.

Um módulo compressor, na sua forma mais básica, é uma unidade na qual um compressor e um motor são ligados através de um eixo e dispostos em uma câmara de pressão comum. Entre o motor e o compressor existe uma vedação para prevenir a contaminação do motor. Todavia, existem problemas no manter o motor elétrico, carregado de gás, tão seco quanto o necessário de maneira a evitar corrosão e outros problemas relacionados com a precipitação de condensados de hidrocarboneto e água em forma líquida no interior do motor. É especialmente importante evitar a presença de água em forma líquida juntamente com um teor de H<sub>2</sub>S ou CO<sub>2</sub>. que pode gerar ácido e, conseqüentemente corrosão acelerada. Estes problemas são contemplados nas patentes norueguesas NO 172075 e NO 173197, e também no pedido de patente Norueguesa 200135199. É também importante prevenir que partículas penetrem e se acumulem no interior do motor e mancais magnéticos.

É mais freqüente utilizar mancais lubrificados a óleo standard ou semelhantes nos compressores e em seus motores. A requerente explorou as possibilidades para uso confiável de um motor de alta velocidade e mancais magnéticos em módulos compressores integrados que têm um casco de pressão comum, proporcionando uma maneira de proteger o motor elétrico e mancais magnéticos no módulo compressor. Mancais magnéticos nos ditos módulos compressores apresentam várias vantagens, particularmente durante

o funcionamento. Mancais magnéticos são mais confiáveis e de operação menos dispendiosa. De especial importância é o fato de que o uso de mancais magnéticos eliminar óleo lubrificante e assim problemas potenciais que possam ocorrer através de: diluição do óleo lubrificante pelos gases de hidrocarboneto com os quais está em contato, acúmulo de condensados de hidrocarboneto no óleo lubrificante, ou degradação do óleo lubrificante com o passar do tempo devido ao seu uso específico nos módulos compressores. O problema enfrentado ao utilizar mancais magnéticos não encapsulados em módulo compressor é sob muitos aspectos similar aos problemas associados com o uso de eletro motores: ambos exigem uma atmosfera completamente seca e inerte com o mais baixo teor de partículas praticamente possível de maneira a funcionar confiavelmente e isenta de problemas com o passar do tempo. Mancais magnéticos encapsulados também existe ou estão em método de serem desenvolvidos. É reivindicado que estes mancais são suscetíveis de operar na corrente de poço não tratada de gás de hidrocarboneto. Todavia, existem razões para acreditar que também no caso destes tipos de mancais magnéticos eles devam ser instalados e operados em uma atmosfera seca e livre de partículas.

Por conseguinte, existe uma necessidade por um sistema e um método para assegurar um ambiente completa ou quase completamente seco para o motor elétrico e para os mancais magnéticos em um módulo compressor integrado, e que também previna partículas (*e.g.*, provenientes da corrente do poço circulem através do compressor) passem do lado do compressor para o interior do motor e/ou dos mancais magnéticos.

Consequentemente, um aparelho é apresentado para controlar o fornecimento de gás barreira a um módulo compressor compreendendo uma câmara de pressão contendo um motor elétrico que através de um eixo é acionavelmente conectado com um compressor, no qual o eixo divide a câmara de pressão em um primeiro compartimento compreendendo o motor e

um segundo compartimento compreendendo o compressor, o segundo compartimento compreendendo uma entrada e uma saída para fluido que deve ser comprimido, caracterizado por uma linha fluidamente conectada com o primeiro compartimento para fornecimento de gás barreira proveniente de um reservatório, e um dispositivo limitador de fluxo na linha entre o reservatório e o primeiro compartimento.

Em uma modalidade da invenção, um aparelho é apresentado para controlar o fornecimento de gás barreira a um módulo compressor compreendendo um alojamento de pressão contendo um motor elétrico que através de um eixo é acionavelmente conectado com um compressor, no qual o eixo é suportado por um primeiro mancal magnético e pelo menos um segundo mancal magnético o lado oposto do compressor em relação aos primeiros mancais magnéticos, e uma vedação axial em torno do eixo divide o alojamento de pressão em um primeiro compartimento compreendendo o motor e um segundo compartimento compreendendo o compressor, o segundo compartimento compreendendo uma entrada e uma saída para fluido que deve ser comprimido, e no qual uma segunda vedação axial é aplicada em torno do eixo entre o compressor e o segundo mancal magnético desse modo formando um terceiro compartimento, caracterizado por uma linha fluidamente conectada com o primeiro compartimento e uma linha fluidamente conectada como terceiro compartimento, as linhas sendo dispostas para fornecimento e gás barreira proveniente de um reservatório, e respectivos dispositivos limitadores de fluxo nas linhas entre o reservatório e o primeiro e o terceiro compartimento, respectivamente.

Outros sim, um método é apresentado para controlar o fornecimento de gás barreira a um módulo compressor, caracterizado por, na base da velocidade de gás barreira requerida através da vedação e da pressão no segundo compartimento, estabelecer uma sobrepressão no reservatório, e efetuar uma alimentação controlada de gás barreira pelo menos ao primeiro

compartimento por intermédio da limitação de fluxo no tubo de alimentação.

Uma modalidade da invenção passa a ser descrita a seguir com referência aos desenhos apensos, nos quais partes idênticas receberam numerais de referência idênticos.

5 A figura 1 é um diagrama esquemático do aparelho de acordo com a invenção.

A figura 2 é um diagrama esquemático de uma modalidade do dispositivo de controle de gás barreira.

10 A figura 3 é um diagrama esquemático de uma modalidade alternativa do dispositivo de controle de gás barreira.

A figura 4 é um diagrama esquemático mostrando a velocidade do gás e o transporte em massa através da vedação axial.

A figura 5 ilustra o dispositivo de controle de gás barreira em uma forma básica.

15 A figura 6 ilustra um dispositivo de controle de gás barreira mecânico que mantém o fluxo de massa constante quando a pressão a montante do controlador,  $p_a$ , é constante e a temperatura é constante, conforme a temperatura se mantém quando o controlador é circundado por água do mar.

20 O módulo compressor de acordo com a invenção compreende um motor elétrico 1 e um compressor 2, ligados através de um eixo 8 e dispostos em um casco de pressão comum 3. A figura 1 ilustra esquematicamente que uma corrente essencialmente de gás de hidrocarboneto, porém que pode também conter líquidos e partículas  
25 (doravante designados de fluido) é conduzido de um reservatório (não mostrado), de preferência através de um separador de líquido e em uma linha 17, para o interior do módulo compressor através de uma entrada 4. No lado a montante (lado de admissão) do compressor 2, o fluido tem uma pressão de sucção designada  $p_s$ , que em um sistema de compressão de corrente do poço

declina lentamente através do tempo à medida que a pressão do reservatório baixa. No lado a jusante do compressor, o fluido tem uma pressão de descarga designada de  $p_d$ . Quando o compressor está em operação,  $p_d$  é maior que  $p_s$ . O fluido egressa do módulo compressor através da saída 5. Nos casos onde o compressor não está em operação e está inativo, a entrada 4 é fechada por intermédio da válvula 41 e a saída é fechada por intermédio da válvula 51, a pressão no interior dos compartimentos de modulo compressor se nivelam e tornam-se idênticas. Se a válvula de derivação 61 é fechada, a pressão a montante 51 se acumulará para tornar-se maior que a pressão a jusante 61. O caso limitador máximo para este acúmulo de pressão, devido ao vazamento através das válvulas na cabeça de poço, é a pressão de fechamento para os poços (pressão de fechamento de cabeça de poço WSHP). Quando o compressor não está em operação e a válvula de derivação 61 está aberta, a pressão a montante 51 e a jusante 61 serão iguais à pressão de estabilização. Se a produção é então paralisada através de um período de tempo mais longo, e as válvulas no terminal receptor de gás são fechadas, a pressão no tubo de transporte além do modulo compressor pode se acumular para WSHP. Em ambos os ditos casos de um compressor inativo, a pressão no interior do módulo compressor pode por conseguinte, devido a vazamento quer na válvula 51 quer 61, ou em ambas, acumular-se para WSHP. Para combater o ingresso de fluido no interior do módulo compressor e as conseqüências que isto pode ter no que se refere à condensação, corrosão e acúmulo de partículas quando está inativo, é por conseguinte vantajoso ajustar para cima a pressão no interior do compressor para estar ligeiramente acima da pressão nos tubos o exterior das válvulas 51 e 61, e opcionalmente para ligeiramente acima de WHSP.

Uma vedação axial 31 é prevista entre compressor 2 e o motor 1 e divide o casco de pressão em um primeiro compartimento 10 e um segundo compartimento 20. Conforme genericamente conhecido, a finalidade

da vedação 31 é prevenir que partículas, umidade e outra contaminação entrem em contato com o motor e outro equipamento elétrico. Todavia, a vedação axial não é completamente hermética. Na busca por um atmosfera seca e limpa ao máximo no primeiro compartimento 10, é essencial que a  
5 pressão no primeiro compartimento 10 (onde o motor está localizado) seja mais alta que a pressão no segundo compartimento 20 (onde o compressor está localizado) isto é, que gás inerte flua do compartimento 10 através da vedação e para o interior de 20. A figura 1 indica isto mostrando que a pressão no primeiro compartimento 10 (e no terceiro compartimento opcional,  
10 devido ao êmbolo de equilíbrio) seja  $p_s + \Delta p$ .

O eixo 8 é girantemente montado por mancais magnéticos 11, 21 como mostrado na figura 1. Se o mancal magnético 31 é do tipo encapsulado conforme descrito acima, a vedação axial 32 é supérflua. A vedação axial 32 é assim opcional se o mancal magnético é encapsulado.

15 A figura 1 uma linha de alimentação 7 para gás, conectada por uma extremidade da mesma com o primeiro compartimento 10 e pela extremidade oposta com um reservatório de gás 6 que contém gás sob uma pressão  $p_a$  e a uma temperatura  $T_a$ . O reservatório de gás 6 pode (opcionalmente) ser fluidamente conectada com outra fonte de alimentação  
20 através de uma linha alimentadora 9, e.g. em uma denominada umbilical. Assim, por intermédio da linha alimentadora 7, gás pode ser fornecido ao primeiro compartimento 10 pelo reservatório 6. Este gás será um gás de hidrocarboneto seco ou um gás inerte seco 8 (gás estranho) que é também livre de partículas. Este gás pode ser proveniente de uma fonte de alimentação  
25 de gás separada ou gás de hidrocarboneto seco pode ser usado. Indiferentemente à fonte, o gás fornecido ao módulo compressor através da linha 7 (e da linha 7') que será descrita abaixo) será doravante designado de "gás barreira".

Em vista da perda por fricção e assim do calor gerado no

motor, que tem de ser refrigerado (por exemplo) por troca de calor com a água do mar circundante em um trocador de calor (não mostrado nas figuras), é vantajoso que o gás barreira fornecido deva ter o mais baixo peso molecular possível, e assim uma densidade tão baixa quanto possível a uma  
5 pressão e temperatura dada, devido à fricção decrescer com densidade de gás decrescente. Para obter fricção mínima e assim mínima perda e máxima eficiência, o uso de metano ( $\text{CH}_4$ ; peso molecular 16) por conseguinte é mais favorável que o nitrogênio ( $\text{N}_2$ ; peso molecular 28). Hidrogênio ( $\text{H}_2$ ; peso molecular 2) é mais favorável no tocante à perda reduzida. A densidade de  
10 hidrogênio será aproximadamente somente de 10% de uma mistura de gás natural típica (peso molecular 20). A densidade do hidrogênio a 100 bárias, por conseguinte, somente corresponde à densidade de gás natural a 20 bárias, com correspondente redução da perda de fricção n motor, requisito de resfriamento e maior eficiência do motor.

15 É usual reportar-se ao lado do compressor onde o motor está localizado como a “extremidade motriz” (DE) do módulo compressor, e ao outro lado como a “extremidade não motriz” (NDE) do módulo compressor. Aqueles versados na técnica

entenderão que em uma modalidade prática, os mancais magnéticos DE do compressor podem ser localizados em caixa de embreagem  
20 entre o motor e o compressor, e a vedação naquele caso se situará entre a caixa de embreagem e o compressor. A caixa de embreagem e o motor não obstante formam um compartimento essencialmente comum com uma atmosfera limpa, comum, ocupada pelo gás barreira. Se os mancais magnéticos são do tipo encapsulado, e as condições operacionais e/ou a  
25 composição do gás do fluxo de poço (o fluido) são tais que estes mancais podem ser permitidos a operar diretamente no gás do fluxo de poço, somente o motor é que requer proteção, e os mancais magnéticos DE do compressor podem, por conseguinte, ser localizados no lado compressor da vedação.

Como mencionado acima, uma vedação axial opcional 32 pode dividir o segundo compartimento 20 em um terceiro compartimento adicional 30 no qual os mancais magnéticos NDE do módulo compressor podem ser localizados. Uma linha opcional 7' ou 7'' para a alimentação de gás barreira proveniente do reservatório 6 para este terceiro compartimento é mostrado na figura 1. Se os mancais magnéticos são do tipo encapsulado, e as condições operacionais e/ou a composição do gás (ou fluido) da corrente do poço são tais que estes mancais podem ser permitidos a operar diretamente no fluido, é somente o motor que requer proteção. Nesse caso a vedação 32 é opcional.

Para prevenir a penetração de contaminantes no segundo compartimento 20 (que contém o compressor 2) e atravessem as vedações axiais 31, 32 e se introduzam no primeiro (ou no terceiro compartimento), a velocidade linear do gás barreira através das vedações axiais tem de ser maior que ou igual a e opostamente dirigido em relação à velocidade do fluido (e partículas no seu interior) no segundo compartimento 20.

No tocante a contaminantes gasosos no fluido ( $H_2S$ ,  $CO_2$ , vapor d'água e moléculas de vapor de hidrocarboneto) haverá uma determinada, e muito pequena de difusão, na faixa de menos de 1 mm/s, que move estes componentes na direção oposta da corrente de gás barreira na vedação. Um suprimento extremamente pequeno (fluxo em massa por unidade de tempo) de gás barreira para o interior da vedação será por conseguinte suficiente para manter estes contaminantes fora dos compartimentos "limpos", e.g., do primeiro e do terceiro compartimento.

Um caso crítico será o possível o ingresso de partículas e possivelmente de gotículas que se precipitam do fluxo do poço no sentido da vedação 32 (para mancais magnéticos NDE), e.g. se o módulo compressor é verticalmente disposto. As ditas partículas podem ter uma velocidade vertical de precipitação em excesso de 0,1 m/s.

A figura 4 ilustra como uma velocidade de gás barreira

requerida mínima através de uma vedação axial para prevenir que partículas se precipitam através de uma vedação verticalmente disposta e pode ser calculada. O fluxo de gás barreira (m) é ilustrado nas figuras 1 e 4. A velocidade de queda é calculada usando a Lei de Stoke:

$$V_p = [D_p^2 (\rho_p - \rho) g] / 18\mu$$

5 Na fórmula e nas figuras, os símbolos têm os seguintes significados:

$V_p$ : velocidade de queda para uma partícula no interior da vedação, m/s

$D_p$ : diâmetro de partícula, m

10  $\rho_p$ : densidade de partículas, kg/m<sup>3</sup>

$\rho$ : densidade de gás, kg/m<sup>3</sup>

$G$ : aceleração da gravidade, m/s<sup>2</sup>

$\mu$ : viscosidade dinâmica

15 Presumindo-se que o gás barreira seja o metano (CH<sub>4</sub>), a temperatura é de 20°C e a densidade de partículas seja de 2500 kg/m<sup>3</sup>, verifica-se que:

- Velocidade de queda para uma partícula de um diâmetro de 50 µm: 0,25 m/s

- Velocidade de queda para uma partícula de um diâmetro de 20 25 µm: 0,06 m/s

Devido à posição do modulo compressor na corrente do poço, normalmente após um separador liquido, muito poucas das partículas ingressando no compressor serão maiores que 25 µm, e quase nenhuma será maior que 50 µm. Teoricamente, uma barreira para cima de velocidade de gás superior a 0,25 m/s através de uma vedação vertical. por conseguinte, será 25 suficiente para prevenir o ingresso de partículas na vedação. Para maior segurança, uma velocidade de gás barreira substancialmente maior pode ser escolhida para manter a exclusão de contaminantes. Caso, por exemplo, for



decidido fornecer um fluxo volumétrico de gás barreira tal que uma velocidade de 1,25 m/s seja obtida na vedação, isto confere um fator de segurança de 5. Na prática, a determinação final da fonte de alimentação de gás barreira, além dos cálculos conforme acima indicados, será baseada sobre a experiência prática. A escolha final de velocidade de gás barreira e outro dimensionamento necessário será baseada sobre um balanço de segurança contra o afluxo de contaminantes através da vedação sob condições estacionárias e transitórias, e evitar dimensionamento indevidamente grande do sistema de alimentação de gás barreira. Particularmente importante é manter o tubo de alimentação (por exemplo, a laia 9) para gás barreira dentro de um diâmetro favorável, por exemplo, menos de 25 mm, e também evitar a necessidade por mais de um tubo de alimentação para uma estação compressora.

A escolha de uma velocidade de gás barreira de entre 1 m/s e 5 m/s, dependendo das condições operacionais efetivas, normalmente resultará em proteção contra afluxo e acúmulo de níveis nocivos de gás contaminantes, água condensada, condensado e partículas de hidrocarboneto no motor e mancais magnéticas, enquanto evitando um sistema de fornecimento de gás barreira desfavoravelmente grande. É a velocidade de gás barreira selecionada através da vedação, baseada sobre uma compreensão dos mecanismos que podem conduzir ao ingresso de fluido contaminado através das vedações, que forma a base para o dimensionamento do sistema de alimentação e o controle do suprimento de gás barreira.

Pela fórmula para a lei de Stoke, é evidente que a velocidade de queda para uma partícula é mais ou menos dependente da pressão e da temperatura. Este é o caso porque a densidade de gás, que é uma função de pressão e temperatura, é muito pequena (tipicamente na faixa de 40 a 100 kg/m<sup>3</sup>) em relação à densidade de partículas (tipicamente 2500 kg/m<sup>3</sup>) em relação à densidade de partículas (tipicamente na faixa de 40 a 100 kg/m<sup>3</sup>) . A

AK  
12

densidade de gás pode, por conseguinte, ser ignorada no cálculo. Outrossim, a viscosidade dinâmica varia muito pouco na faixa de pressão relevante (tipicamente 50 a 100 bárias) e na faixa de temperatura (tipicamente 50 a 100 bárias) e a faixa de temperatura (tipicamente de 50 a 80°C). Isto tipicamente  
5 significa que a alimentação de fluxo em massa de gás barreira através do tempo (e na etapa com pressão de corrente de poço cadente) pode ser reduzida proporcionalmente com a redução na pressão no lado de entrada do compressor,  $O_s$ , sem qualquer aumento no risco de um ingresso de partículas, porque a taxa de vazão de gás barreira através da vedação será então mantida  
10 constante.

Via de regra, o módulo compressor será posicionado horizontalmente, e naquele caso partículas/gotículas não tem qualquer velocidade de queda na direção da vedação. As velocidades de gás barreira indicadas (acima) na vedação nestes casos proporcionam extensa proteção  
15 contra contaminação do motor e vedações sob condições operacionais estacionárias (“estado estável”). Uma velocidade de gás barreira selecionada deste tipo também impedirá partículas que poderiam ser lançadas contra as vedações pelos rotores em rotação e o eixo, devido ao seu momentum ser rapidamente absorvido das mesmas pelo gás barreira em contra-rotação e pela  
20 efetiva barreira física formada pela vedação. Mesmo sob condições transientes, por exemplo, a partida e a parada do módulo compressor ou sobre a paralisação ou partida de poços, haverá substancial proteção contra contaminação. Mesmo se contaminantes gasosos viessem brevemente a penetrar no interior do motor sob condições transientes, eles seriam tão  
25 diluídos pelo gás barreira limpo no motor que eles não atingiriam níveis nocivos. O mesmo se aplica ao acúmulo de partículas.

Também nos casos onde módulo compressor é horizontal, é possível – como no caso de módulos verticais (descritos acima) – argumentar que o fornecimento de gás barreira pode ser reduzido quando a pressão no

lado de entrada do compressor baixar, o que a taxa de vazão de gás através da vedação será mantida com menor fluxo em massa fornecido.

Na figura 4 é mostrado que a vedação 31, 32 forma um anel tubular em torno do eixo 8, Este anel tubular pode tipicamente ter uma  
5 abertura em torno de 0,3 mm. Para o grau da necessidade por gás barreira, foi selecionada uma velocidade de gás barreira de 2,5 m/s, um diâmetro de eixo de 150 mm e uma pressão de gás de 100 bars. É ainda presumido que o gás barreira seja o metano. Cálculos mostram então que a necessidade por fornecimento (em outras palavras, fluxo de massa,  $m$ ) de gás barreira para  
10 uma vedação estará na faixa de 0,0068 kg/s. Para um módulo compressor com duas vedações, onde ambas as vedações magnéticas DE e NDE situam-se na atmosfera protetora e “limpa” a necessidade por gás barreira estará em torno de 0,02 kg/s. Um consumo de gás barreira tão baixo resultará em um dimensionamento favorável do sistema de alimentação para gás barreira,  
15 inclusive tubos na umbilical, mesmo com vários módulos compressores em uma estação de compressor submarina.

Para obter proteção do motor e mancais magnéticos quando o compressor está em operação, a invenção é assim baseada sobre utilizar, em combinação, o conhecimento, de

20 - velocidade de gás barreira necessária,  $v_g$ , através da vedação;

e

- conhecimento de (medição da) pressão no interior do compartimento de compressor que confronta as vedações,  $p_g$  (normalmente igual à pressão de aspiração do compressor) e de como esta pressão declina  
25 com o passar do tempo.

Dado este conhecimento as seguintes medidas podem ser tomadas:

- uma determinada sobrepressão desejada,  $p_a$ , pode ser estabelecida em um acumulador 6 que pode ser instalado no interior do tubo

alimentador de gás barreira 9, ou o volume no tubo alimentador pode constituir um acumulador adequado;

- uma fonte de alimentação controlada de gás barreira pode ser fornecida para o módulo compressor (o primeiro e opcionalmente o terceiro compartimento) por intermédio de uma limitação de fluxo 71,71' no tubo alimentador 7,7', 7" entre o acumulador 6 e a entrada para o primeiro (opcionalmente também o terceiro) compartimento que contém o motor e/ou mancais magnéticos.

• A limitação de fluxo é calibrada e/ou controlada de modo que confira um fluxo volumétrico de gás barreira para o interior do primeiro (opcionalmente também o terceiro) compartimento que pelo menos proporciona a velocidade de gás barreira mínima determinada através da vedação.

• A limitação de fluxo pode alternativamente ser calibrada e/ou controlada de forma que confira um fluxo de massa fixo, isto é, um fluxo volumétrico que aumenta em função de pressão de sucção decrescente,  $p_s$ , de gás barreira no primeiro (opcionalmente também no terceiro compartimento) que pelo menos confira a velocidade de gás barreira mínima determinada através da vedação. Um controle deste tipo é na prática muito fácil de obter em um sistema submarino onde  $T_a$  será constante (igual à temperatura da água do mar circundante), mantendo  $p_a$  constante através do tempo indiferentemente ao valor de  $p_s$ . Um fluxímetro entre o acumulador em  $p_a$  e a limitação de fluxo pode então ser controlada por um sinal fixo, por exemplo, queda de pressão fixa através de um orifício dosador. O fluxo de massa e a velocidade através do tubo alimentador 9 será então constante através do tempo.

Devido à velocidade  $v_g$  do gás barreira através da vedação ser baixa, a queda de pressão através da vedação também será pequena. A pressão no interior do compartimento do motor e do compartimento de

mancais (em outras palavras, o primeiro e o terceiro compartimentos) somente terá uma sobrepressão muito pequena,  $\Delta_0$  (aproximadamente na faixa de 0,02 a 0,3 bar) em relação à pressão de sucção,  $p_s$ , do compressor, e este fato é importante para selecionar o valor correto para a pressão no acumulador,  $p_a$ , que, por exemplo, pode ser estabelecida em 5 a 50 bars ou mais acima de  $p_s$ . A queda de pressão através da vedação é por conseguinte ignorada em relação à queda de pressão através da limitação de fluxo, e, por conseguinte, na prática, é a limitação de fluxo isoladamente que determina o fluxo de gás barreira.

10 O acumulador acima mencionado 6 não necessita indispensavelmente ser um tanque separado, porém, pode em determinados casos consistir do volume de gás comprimido no tubo à frente da limitação de fluxo 7, 7'. Em muitos casos, todavia, será vantajoso ter um tanque de pressão convenientemente dimensionado como um acumulador próximo à  
15 limitação de fluxo, como mostrado na figura 1.

A limitação de fluxo 7, 7' pode ser localizada em proximidade imediata da entrada do tubo de alimentação 7, 7', 7'' para o interior do compartimento para o motor e vedação, ou pode ser localizada a muitos quilômetros de distância. Para compressores submarinos, isto pode  
20 significar que sob a água e muito próximo ao módulo compressor existe uma restrição de fluxo e um tanque acumulador, e que o gás barreira é fornecido através de um tubo de alimentação na umbilical de uma plataforma ou da costa e a uma pressão da fonte de alimentação de gás que resulta na pressão desejada  $p_a$ . Para transporte através de longas distâncias, é vantajoso que a  
25 limitação de fluxo ocorra próxima ao módulo compressor para que o transporte de gás barreira ocorra sob máxima pressão manter o diâmetro do tubo de alimentação tão pequeno quanto possível. Em outros casos, e especialmente quando a distância entre o módulo compressor e a fonte de alimentação de gás barreira seja pequena, a alimentação do fluxo volumétrico

desejado de gás barreira pode se processar sob pressão relativamente pequena – apenas suficiente para superar a fricção no tubo – diretamente da fonte de gás barreira, e.g., com um compressor a êmbolo que é ajustado para conferir o fluxo volumétrico desejado através da vedação sem ter um acumulador e restrição de fluxo próxima ao módulo compressor, ou pelo fornecimento do fluxo volumétrico desejado a partir da costa ou de uma plataforma pelo fato do tanque e controle de fluxo de massa estar ali localizados. A desvantagem disto será que devido à baixa pressão de gás, isto é, volume de gás expandido, os diâmetros do tubo de alimentação terão de ser relativamente grandes, e serão assim de custo crescente para a linha umbilical.

A restrição de fluxo 71,71' é mostrada na sua forma mais básica na figura 5, onde uma pressão de reservatório ( $p_a$ ) é controlada em uma de várias maneiras que serão descritas abaixo, para a pressão desejada no primeiro compartimento (10), isto é,  $p_s + \Delta p$ .

A figura 3 mostra uma variante da restrição de fluxo 71;71', onde uma válvula estranguladora 79 é controlada na base da medição de fluxo. A figura 2 mostra outra variante da restrição de fluxo 71;71' que compreende uma pluralidade de estranguladores 79' em paralelo.

Acima, o controle do fluxo de gás barreira foi descrito como uma restrição de fluxo apropriada 71,71' instalada no tubo alimentador 7, 7', 7'' para o interior do compartimento ou compartimentos para o motor e mancais magnéticos, esta restrição de fluxo limita entre, por um lado, uma pressão conhecida,  $p_s$ , (determinada pela pressão do reservatório a qualquer tempo dado e a queda em pressão até a entrada do compressor) e por outro lado uma pressão prefixada desejada,  $p_a$ , à frente da restrição de fluxo.

O fornecimento de gás barreira aos compartimentos “limpos” pode na prática ser controlado de várias maneiras:

- Constante  $p_a$ , restrição de fluxo constante

Permitir  $p_a$  a permanecer fixa, e calibrar e estabelecer uma

restrição de fluxo constante Que confira alimentação suficiente mínima de gás barreira ao início de compressão (isto é, na partida, na fase inicial do poço), e que proporcione consumo crescente a medida que a pressão do reservatório (e assim também  $p_s$ ) declina. O fluxo volumétrico de gás barreira, e assim o fluxo de massa, aumenta pela raiz quadrada da diferença  $p_a - p_s$ . Este controle muito simples apresenta a desvantagem de que o sistema de alimentação para gás barreira inclusive o diâmetro do tubo de alimentação, ter então de ser dimensionado para o dito consumo crescente. Se, e.g.,  $p_s$  declinar de 100 bars ao início da compressão para 60 bars ao término de compressão, e  $p_a$  é mantido a 130 bars, o sistema de alimentação terá de ser super dimensionado em cerca de 50%. Porém em determinados casos, esta pode ser uma solução aceitável para obter construção e operação técnica simples.

- Ajustar  $p_a$  em harmonia com  $p_s$  em declínio

Ajustar para baixo  $p_a$  à medida que  $p_s$  declina e reduzir a pressão de alimentação da fonte de alimentação a partir de terra ou de uma plataforma correspondentemente, para que a alimentação de gás barreira ao módulo compressor a qualquer tempo dado forneça velocidade de gás barreira quase fixa através da vedação. Como mostrado acima, o fluxo em massa fornecido de gás barreira pode ser reduzido com o passar do tempo com a queda em  $p_s$ , para que a velocidade do gás barreira através da vedação seja mantida fixa e com a mesma sua faculdade de excluir contaminantes. Quando  $p_a$  é reduzida, e assim o nível de pressão no tubo umbilical é reduzida, haverá, se o fluxo em massa é mantido constante, ocorrerá um aumento em volume do gás a ser transportado que é aproximadamente inversamente proporcional à redução de  $p_a$ , e a fricção no tubo aumentará pelo quadrado do aumento em volume de gás, isto é, uma quadruplicação da queda em pressão da fonte de alimentação de gás barreira através do tubo umbilical para o módulo compressor. Com isto o fornecimento do fluxo em massa de gás barreira também pode ser reduzido correspondentemente e ainda manter a

velocidade prescrita através da vedação, a queda em pressão através do método baseado no manter a velocidade prescrita através da vedação ajustando baixo através do tempo: ( $p_a$ ) – função ( $p_s$ ) com restrição de fluxo fixa entre os dois níveis de pressão é por conseguinte favorável porque o dito controle é muito simples pois a pressão  $p_s$  declina lentamente através do tempo. Como mencionado acima, a alimentação de gás barreira será estabelecida com um grande influxo de fator de segurança contra o ingresso de contaminantes. Breves transições em temperatura e pressão, conforme destacado anteriormente, não resultarão em ingresso nocivo mesmo se ( $p_a$ ) é ajustado para baixo.

- $p_s$  fixo, restrição de fluxo ajustável através da válvula

$p_a$  é fixo, e a restrição de fluxo  $71,71'$  é ajustável, e.g., na forma de uma ou mais válvulas que podem ser operadas manualmente (e.g., por uma pessoa ou usando um vaso remotamente operado (ROV) para que a restrição de fluxo a determinados intervalos seja aumentada quando  $p_s$  declina. A restrição de fluxo pode ser ajustada, e.g., por medir a queda de pressão através da restrição de fluxo Alternativamente;

$p_a$  é fixo, e a restrição de fluxo  $71,71'$  é ajustável, e.g., na forma de uma válvula hidraulicamente operável que pode ser controlada manualmente a partir de uma sala de controle para que a restrição de fluxo a determinados intervalos seja aumentada quando  $p_s$  declina. A restrição de fluxo pode ser ajustada, e.g., medindo a queda de pressão através da restrição de fluxo.

- $p_a$  fixo, restrição de fluxo baseada sobre queda de pressão medida

$p_a$  é fixo, e uma válvula de controle de fluxo é instalada que ajusta o fluxo na base da queda de pressão medida através de uma restrição a montante da válvula. Isto dá o fluxo de massa constante porque a pressão ( $p_a$ ) e a temperatura (para um compressor submarino: temperatura da água do mar)

a montante da válvula são aproximadamente valores fixos. A velocidade através da vedação para o gás barreira, devido à expansão do gás aumenta quando  $p_s$  declina. Esta é somente uma vantagem no tocante à

proteção contra a penetração de contaminantes através da vedação, enquanto não representa uma desvantagem para o dimensionamento do sistema de alimentação que tem de ser dimensionado para o início do estado de compressão quando o consumo em massa de gás barreira será máximo de maneira a obter a velocidade mínima requerida através da vedação.

10 •  $p_a$  fixa, restrição de fluxo, baseada sobre a queda de pressão medida, e pressão e temperatura no compartimento do motor

$p_a$  é fixa, e uma válvula de controle de fluxo é instalada que ajusta o fluxo na base da queda de pressão medida através de uma restrição a montante da válvula e a medição da pressão e temperatura no compartimento de motor e compartimento de mancal magnético, para que a válvula produza um fluxo de volume fixo, porém controle desnecessariamente complexo.

Quando o compressor 2 tiver sido desligado e não estiver em operação, será isolado da entrada 4 e saída 5 pelas respectivas válvulas de fechamento 41, 51. Neste estado, o afluxo de gás barreira cessará quando na totalidade do módulo compressor 3 (isto é, primeiro, segundo e terceiro compartimentos) uma pressão tiver se acumulado que é igual à pressão do acumulador  $p_a$ . É importante que a pressão no interior do módulo compressor 3 quando inativo seja maior que a pressão no tubo de entrada e saída à frente das válvulas para que no caso de vazamento nas válvulas 41, 51, o gás barreira se escoe do módulo compressor, e não líquido e gás contaminado ingressem no módulo. Se durante a operação do compressor,  $p_a$  for estabelecida a uma pressão mais alta que a máxima pressão que pode ocorrer na linha de entrada ou de saída durante a paralisação, proteção contra afluxo durante a paralisação será automaticamente obtida. Esta pressão mais alta que

possa se acumular normalmente será a Pressão de Fechamento de Cabeça de Poço (WHSP). Se durante a operação,  $p_a$  é estabelecida mais baixa que a pressão que se acumula no exterior das válvulas,  $p_a$  pode ser ajustada para cima conforme requerido, e.g., 1 a 5 bárias acima da pressão no tubo de entrada/saída com a alimentação de gás proveniente da fonte de alimentação (em terra ou em uma plataforma).

A figura 6 mostra um dispositivo de controle mecânico para gás barreira que confere fluxo de massa constante quando a pressão e a temperatura a montante do controlador são constantes. O dispositivo de controle inclui um corpo de válvula 101 com uma entrada 102 que é fluidamente ligada com uma cavidade no corpo de válvula onde um êmbolo 103 está localizado. Como mostrado na figura existe uma abertura fixa 104 no êmbolo ou entre o êmbolo e a parede de corpo de válvula interna, através de cuja abertura o gás pode fluir. O êmbolo 103 é conectado com uma mola 105 que por sua vez é fixada em um canal 109 no corpo de válvula. O êmbolo é também conectado com um primeiro tubo 11 que é coaxialmente disposto com e parcialmente circunda um segundo tubo 107. O primeiro tubo 111 é disposto em um canal separado 108 e pode (juntamente com o êmbolo 103)deslizar em vaivém através do segundo tubo 107.

O segundo tubo 107 é fluidamente ligado com uma abertura 110 no corpo de válvula e uma parte do segundo do segundo tubo 107 que está no lado à jusante do êmbolo 103 é munido de uma ou mais aberturas 106 que assim criam conexão fluídica entre a cavidade e a abertura 110. A abertura 110 é, em uso, em conexão com o dispositivo de controle descrito acima, uma saída para gás barreira para o interior do compartimento de motor e o compartimento para mancais magnéticos.

Quando usado como um dispositivo de controle para gás barreira, um gás barreira a uma pressão  $p_a$  e temperatura constante (temperatura da água do mar circundante) será passado pela entrada 102 e

para o interior da cavidade de corpo de válvula acima mencionado. Quando o gás flui através da abertura de êmbolo 104, uma queda em pressão ocorrerá. Esta queda de pressão produzirá uma força que impelirá o êmbolo 103 e o primeiro tubo 111 na direção do fluxo de gás (para a direita na figura 6). A mola 105 pode ser ajustada para que a queda em pressão através da abertura do êmbolo permaneça fixa. Quando a pressão 110 baixa, resultará no fluxo através da abertura do êmbolo 104 tender a aumentar, que empurrará o êmbolo para a direita. Então, todavia, o primeiro tubo 111 (que acompanha o êmbolo) cobrirá uma maior parte da abertura 106 no segundo tubo 107, que aumenta a queda de pressão através da abertura 104 fixa. Reciprocamente, o êmbolo se deslocará para a esquerda se a pressão de descarga 110 aumentar de forma que a queda em pressão e assim o fluxo através de 104 permanece fixo.

Se o fluxo pela saída 110 é fechado, o exemplo, com a paralisação e desativação do módulo compressor, o êmbolo 103 será empurrado totalmente para a esquerda, que conduz à abertura 106 no segundo tubo 107 ser completamente aberta. Isto levará a pressão no inteiro sistema, inclusive no modulo compressor, se estabelecer em  $p_a$ .

## REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para controlar o fornecimento de gás barreira a um módulo compressor compreendendo uma câmara de pressão (3) contendo um motor elétrico (1) que através de um eixo (8) é acionavelmente conectado com um compressor (2), no qual o eixo (8) é suportado por mancais magnéticos (11, 21) e uma vedação axial (31) em torno do eixo (8) divide a câmara de pressão em um primeiro compartimento (10) compreendendo o motor (1) e um segundo compartimento (20) compreendendo o compressor (2), o segundo compartimento (20) compreendendo uma entrada (4) e uma saída (5) para fluido que deve ser comprimido, caracterizado pelo fato de que compreende uma linha (7) fluidamente conectada com o primeiro compartimento (10) para o fornecimento de gás barreira proveniente de um reservatório (6), e um dispositivo de controle (71) na linha entre o reservatório (6) e o primeiro compartimento (10).

2. Aparelho para controlar o fornecimento de gás barreira a um módulo compressor compreendendo uma câmara de pressão (3) contendo um motor elétrico (1) que através de um eixo (8) é acionavelmente conectado com um compressor (2), no qual o eixo (8) é suportado pelos primeiros mancais magnéticos (11) e pelo menos um segundo mancal magnético (21) no lado oposto do compressor em relação aos primeiros mancais magnéticos (11), e uma vedação axial (31) em torno do dito eixo (8) divide a câmara de pressão em um primeiro compartimento (10) compreendendo o motor (1) e um segundo compartimento (20) compreendendo o compressor (2), o segundo compartimento (20) compreendendo uma entrada (4) e uma saída (5) para fluido que deve ser comprimido, e no qual uma vedação axial adicional (32) é aplicada em torno do eixo (8) entre o compressor (2) e o segundo mancal magnético (32) desse modo formando um terceiro compartimento (30), caracterizado pelo fato de que compreende uma linha (7) fluidamente conectada com o primeiro compartimento (10) e uma linha (7, 7'')

fluidamente conectada com o terceiro compartimento (30), no qual as linhas (7,7', 7'') são dispostas para o fornecimento de gás barreira proveniente de um reservatório (6), e respectivos dispositivos de controle (71, 71') na linha entre o reservatório (6) e o primeiro compartimento (10) e o terceiro (30) compartimento, respectivamente.

3. Aparelho de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o gás barreira é qualquer mistura de gás que seja seca, livre de partículas (um teor de partículas tão baixo quanto praticamente possível) e que seja inerte com respeito aos materiais no motor e nos mancais magnéticos.

4. Aparelho de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o gás barreira é o hidrogênio.

5. Aparelho de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o reservatório (6) compreende uma linha de alimentação (9) conectada com outra fonte de gás.

6. Aparelho de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o dispositivo de controle (71; 71') é um dispositivo limitador de fluxo.

7. Aparelho de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o dispositivo de controle (71; 71') compreende uma pluralidade de estranguladores (79') dispostos em paralelo.

8. Método para controlar o fornecimento de gás barreira a um módulo compressor conforme exposto na reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que, na base de velocidade de gás barreira requerida ( $v_g$ ) através da vedação (31; 32) e da pressão ( $p_g$ ) no segundo compartimento (20), estabelece uma sobrepressão ( $p_a$ ) no reservatório (6), e efetuar um alimentação controlada de gás barreira pelo menos ao primeiro compartimento (10) por intermédio de limitação de fluxo (71, 71') no tubo de alimentação (7; 7').



9. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que a limitação de fluxo (71; 71') é controlada de modo a proporcionar um fluxo volumétrico de gás barreira para o interior de pelo menos o primeiro compartimento (10), que pelo menos confere a velocidade de gás barreira necessária ( $v_g$ ) através da vedação.

10. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o estrangulador (71; 71') é controlado de modo que proporcione um fluxo volumétrico de gás barreira para o interior de pelo menos o primeiro compartimento (10), que pelo menos confira a velocidade de gás barreira necessária ( $v_g$ ) através da vedação.

11. Método de acordo com as reivindicações 8 e 10, caracterizado pelo fato de que a sobrepressão ( $p_a$ ) no reservatório é mantida constante e a limitação de fluxo é controlada na base de queda de pressão através de um orifício dosador.

12. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que a limitação de fluxo ( $p_a$ ) no reservatório (6) é ajustada em resposta a uma alteração na pressão ( $p_g$ ) no segundo compartimento (20).

13. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que a sobrepressão ( $p_a$ ) no reservatório é mantida constante e a limitação de fluxo ser ajustada na base da queda de pressão medida através do estrangulamento (71; 71').

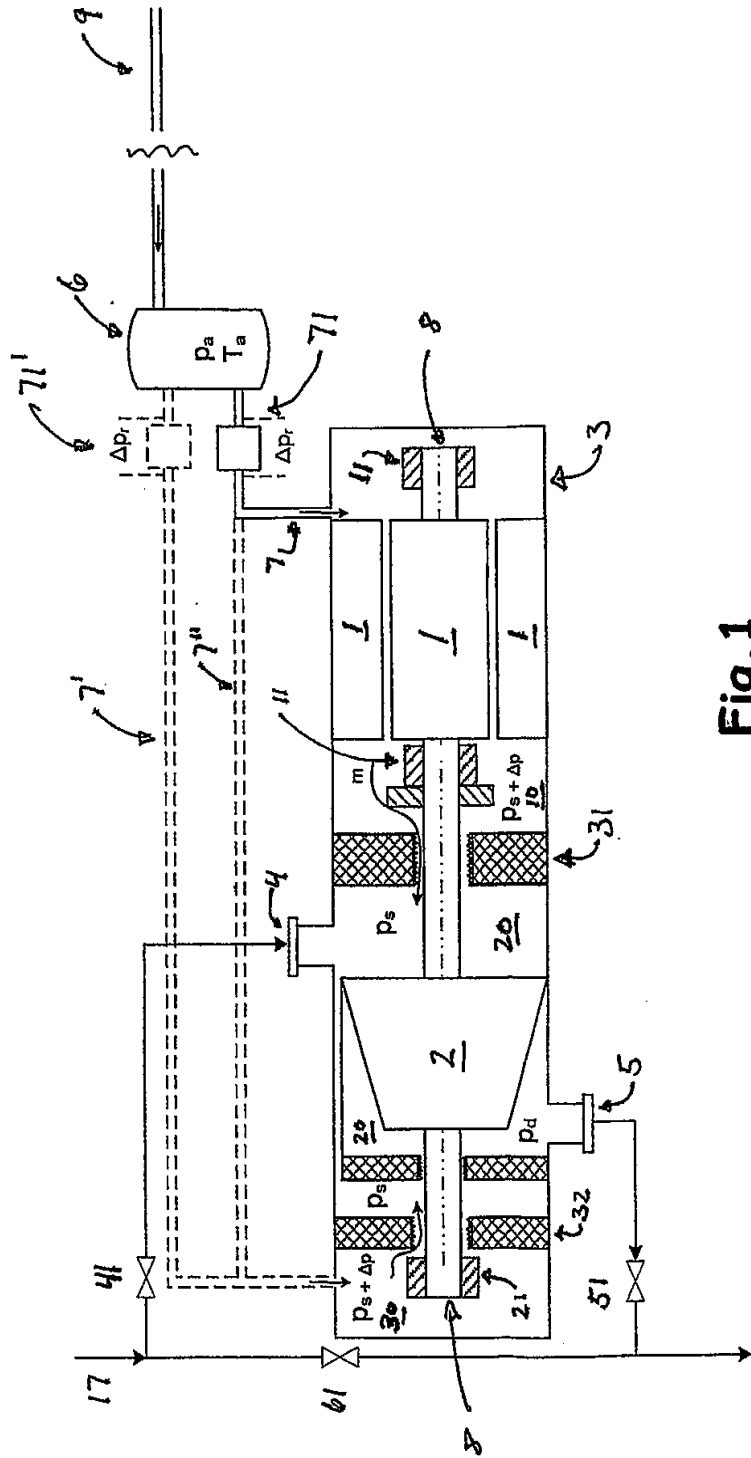


Fig.1

*[Handwritten signature]*

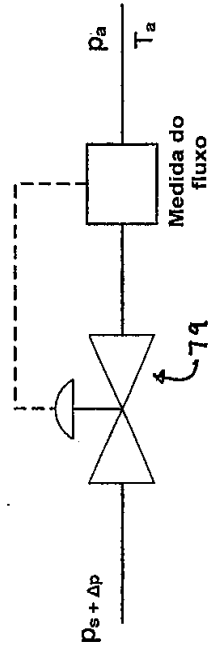


Fig. 3

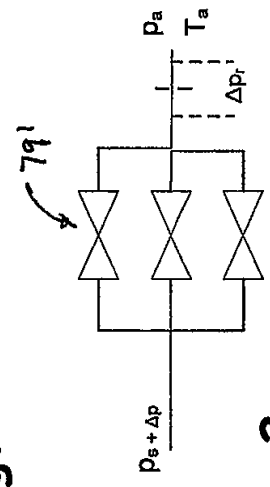


Fig. 2

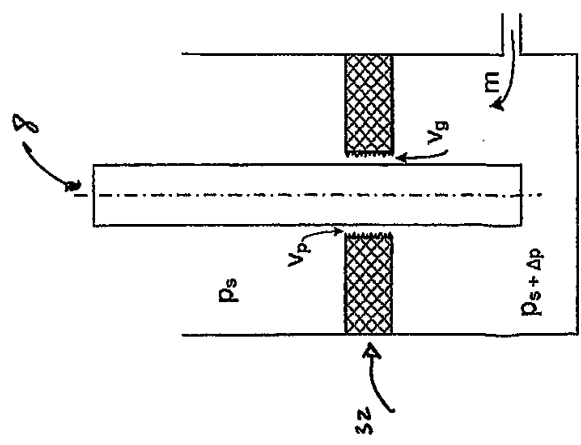


Fig. 4

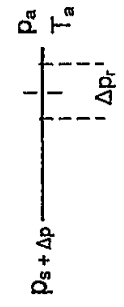


Fig. 5

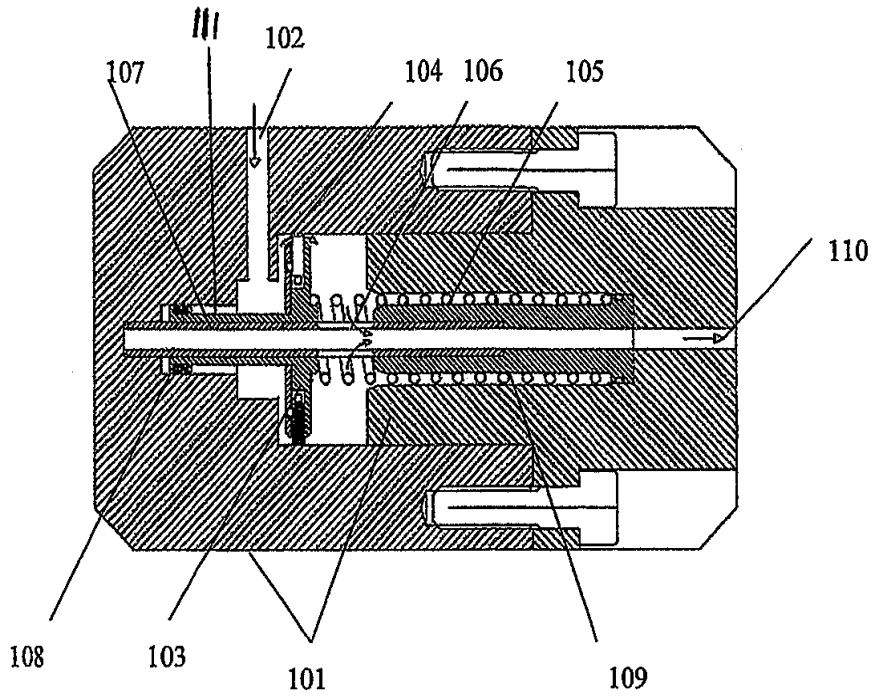


Fig.6

RESUMO

“APARELHO E MÉTODO PARA CONTROLAR A ALIMENTAÇÃO DE GÁS BARREIRA A UM MÓDULO COMPRESSOR”.

Aparelho para controlar o fornecimento de gás barreira a um módulo compressor compreendendo uma câmara de pressão (3) contendo um motor elétrico (1) que através de um eixo (8) é propulsoramente conectado com um compressor (2). O eixo (8) é suportado por mancais magnéticos (11, 21) e pelo menos uma vedação axial (31) em torno do eixo (8) que divide a câmara de pressão em um primeiro compartimento (10) encerrando o motor (1) e um segundo compartimento (20) encerrando o compressor (2), o segundo compressor (20) compreendendo uma entrada (4) e uma saída (5) para o fluido que deve ser comprimido. Uma linha (7) é fluidamente conectada com o primeiro compartimento (10) para o fornecimento de gás barreira proveniente de um reservatório (6) e existe um dispositivo limitador de fluxo (71) na linha entre o reservatório (6) e o primeiro compartimento (10). O aparelho facilita um método para controlar o fornecimento de gás barreira na base da velocidade de gás barreira requerida (vg) através da vedação (31; 32) e da pressão (ps) no segundo compartimento (20), Uma sobrepressão (pa) pode ser estabelecida no reservatório (6) e um fornecimento controlado de gás barreira pelo menos ao primeiro (10) compartimento é efetuado com o auxílio do estrangulamento de fluxo (71, 71') no tubo de alimentação (7; 7').