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

(11) BR 112018005621-9 B1

(22) Data do Depósito: 22/09/2016

(45) Data de Concessão: 06/12/2022

(54) Título: SISTEMA DE BOMBA SUBMARINA E INTENSIFICADOR DE PRESSÃO SUBMARINO

(51) Int.Cl.: F04D 13/08; E21B 43/12; F04B 23/00; F04B 47/06.

(30) Prioridade Unionista: 23/09/2015 US 62/222,297.

(73) Titular(es): AKER SOLUTIONS INC.; BAKER HUGHES, A GE COMPANY, LLC.

(72) Inventor(es): ROBIN SLATER; WILLIAM JOHNSTON; IAN MITCHELL; ALEXANDER BARRY.

(86) Pedido PCT: PCT NO2016050193 de 22/09/2016

(87) Publicação PCT: WO 2017/052383 de 30/03/2017

(85) Data do Início da Fase Nacional: 21/03/2018

(57) Resumo: SISTEMA DE BOMBA SUBMARINA. A invenção provê um sistema de bomba submarina, compreendendo uma bomba submarina, um tanque de condicionamento de fluido, um tanque de conservação de líquido, uma linha arranjada para recirculação de líquido do tanque de conservação de líquido para à montante da bomba submarina, e um umbilical para força, monitoramento e controle, em que o tanque de condicionamento de fluido é arranjado à montante da bomba submarina que é arranjada à montante do tanque de conservação de líquido. O sistema de bomba submarina é característico em que compreende adicionalmente: um primeiro elemento de flutuabilidade suspenso no tanque de condicionamento de fluido, um segundo elemento de flutuabilidade suspenso no tanque de conservação de líquido, sensores de fibra ótica, pelo menos arranjados em uma suspensão do elemento de flutuabilidade no tanque de condicionamento de fluido e em uma suspensão do elemento de flutuabilidade no tanque de conservação de líquido, e componentes eletrônicos, em que todos os sensores submarinos consistem de sensores de fibra ótica e todos os componentes eletrônicos para monitoramento e controle consistem de componentes eletrônicos arranjados no convés superior. A invenção também provê um intensificador de pressão submarino, compreendendo pelo menos um sensor de fibra ótica arranjado (...).

“SISTEMA DE BOMBA SUBMARINA E INTENSIFICADOR DE PRESSÃO SUBMARINO”

CAMPO DA INVENÇÃO

[0001] A presente invenção diz respeito a bombas submarinas para a indústria petrolífera, instrumentação, controle, confiabilidade e custo das mesmas.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO E TECNOLOGIA ANTERIOR

[0002] Confiabilidade é um ponto chave para equipamento submarino.

[0003] Um sistema de bomba submarina, ou seja, um sistema de bomba arranjado próximo ou no leito oceânico para bombear fluido multifásico ou fluido monofásico, tipicamente compreende instrumentação eletrônica e módulos de controle eletrônico arranjados em um local submarino. Componentes eletrônicos submarinos podem ser uma limitação com relação à confiabilidade, uma vez que uma grande quantidade de componentes e conexões é incluída. Mesmo que cada componente tenha confiabilidade muito alta, a confiabilidade de cada componente tipicamente tem que ser multiplicada pela confiabilidade de outros componentes. Algumas vezes com milhares de componentes, a confiabilidade resultante pode ser uma limitação para o tempo de atividade do equipamento.

[0004] Smart Fibres Ltd de UK sugeriu uma bomba submarina com um sistema de monitoramento de condição com sensores de fibra ótica, publicado pela url: http://smartfibres.com/docs/Subsea Rotating Machine Condition Monitoring System.pdf

[0005] De acordo com Smart Fibres, a tecnologia de grade de Bragg de fibra ótica (do inglês, Fiber Bragg Grating - FBG) é usada para monitoramento de condição de uma bomba e motor submarinos, arranjando fibras óticas com sensores FBG no motor e bomba submarinos. Todos os sensores óticos são sugeridos em um local submarino, com instrumentação eletrônica na superfície, conectados por meio de fibras óticas em um umbilical. Somente sensores FBG são sugeridos e somente arranjados na bomba e motor submarinos.

[0006] Para uma bomba de fundo de poço, uma assim chamada bomba elétrica submersível (ESP), dispositivos de detecção de fibra ótica distribuídos para monitorar

a saúde de uma ESP de fundo de poço são descritos e ilustrados no relatório descritivo de patente US 20 5/01 10439 A1. O método e sistema descritos no dito relatório descritivo dizem respeito à determinação de um parâmetro de pelo menos um componente de um sistema de elevação artificial localizado em uma formação subterrânea. Não é explicitamente descrito onde os processadores e módulos eletrônicos são arranjados; no convés superior ou no fundo de poço. Pelo dito relatório descritivo, não é claro se componentes ou parâmetros além de pelo menos um parâmetro e componente são monitorados com sensores eletrônicos ou sensores de fibra ótica, no fundo de poço ou no convés superior, ou onde os componentes eletrônicos são arranjados.

[0007] Existe uma demanda por confiabilidade melhorada e custo reduzido para bombas submarinas e sistemas de bomba submarina.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0008] A invenção atende a demanda provendo um sistema de bomba submarina, compreendendo:

uma bomba submarina,

um tanque de condicionamento de fluido,

um tanque de conservação de líquido,

uma linha arranjada para recirculação de líquido do tanque de conservação de líquido para à montante da bomba submarina, e

um umbilical para força, monitoramento e controle,

em que o tanque de condicionamento de fluido é arranjado à montante da bomba submarina que é arranjada à montante do tanque de conservação de líquido.

[0009] O sistema de bomba submarina é característico em que compreende adicionalmente:

um primeiro elemento de flutuabilidade suspenso no tanque de condicionamento de fluido,

um segundo elemento de flutuabilidade suspenso no tanque de conservação de líquido,

sensores de fibra ótica, pelo menos arranjados em uma suspensão do elemento de flutuabilidade no tanque de condicionamento de fluido e em uma suspensão do elemento de flutuabilidade no tanque de conservação de líquido, e

componentes eletrônicos,

preferivelmente todos os sensores submarinos consistem de sensores de fibra ótica e todos os componentes eletrônicos para monitoramento e controle consistem de componentes eletrônicos arranjados no convés superior.

[0010] Nas modalidades mais preferidas, todos os sensores submarinos consistem de sensores de fibra ótica e todos os componentes eletrônicos para monitoramento e controle consistem de componentes eletrônicos arranjados no convés superior. No convés superior significa acima da água, em uma plataforma ou navio ou em terra. Preferivelmente, nenhum componente eletrônico é arranjado em local submarino, especialmente nenhum componente eletrônico para monitoramento e controle. Uma possível exceção, não para monitoramento e controle, entretanto, e definitivamente sem contato com fluidos de processo ou compartimento de bomba submarina dos fluidos de motor, é um possível módulo de componentes eletrônicos submarinos, convenientemente arranjados na terminação do umbilical submarina, para conversão analógica em digital de sinais óticos, para permitir transmissão a maior distância. Tal módulo de componentes eletrônicos submarinos, se presente, entretanto não é para monitoramento e controle, mas somente para conversão de um tipo de sinal ótico para um outro tipo de sinal ótico para melhor transmissão dos sinais óticos. Dessa maneira, nenhum componente eletrônico é operacionalmente acoplado ao equipamento de processo para monitoramento e controle em modalidades mais preferidas.

[0011] O sistema de bomba submarina preferivelmente compreende um único conector macho molhado, conectando o umbilical à bomba submarina e aos sensores de fibra ótica da bomba submarina, o tanque de condicionamento de fluido e o tanque de conservação de líquido.

[0012] Preferivelmente, todas as outras conexões são por conectores machos secos ou pré- emendas de fusão instalados feitos antes da instalação do sistema de bomba submarina.

[0013] Em uma modalidade preferível, o sistema de bomba submarina compreende sensores de fibra ótica no umbilical para medir tanto temperatura quanto deformação do carregamento dinâmico do umbilical.

[0014] Em uma modalidade preferível, o sistema de bomba submarina compreende pelo menos um sensor de pressão e temperatura de fibra ótica da Fabry Perot.

[0015] Em uma modalidade preferível adicional, o sistema de bomba submarina compreende sensores de fibra ótica para monitoramento do nível de líquido usando pressão diferencial, no tanque de condicionamento de fluido e no tanque de conservação de líquido. Em uma modalidade preferível adicional, O sistema de bomba submarina compreende arranjos de sensores de grade de Bragg de fibra ótica afixados à suspensão do elemento de flutuabilidade no tanque de condicionamento de fluido e à suspensão do elemento de flutuabilidade no tanque de conservação de líquido. Os elementos de flutuabilidade usados no sistema da invenção podem ter flutuabilidade positiva ou negativa quando submersos em líquido, entretanto, os ditos elementos têm que ter peso e volume conhecidos, ou os valores medidos têm que ser calibrados nos valores de pelo menos um dos parâmetros: nível, vazão (do inglês, *flow rate*) e composição de fluido.

[0016] O sistema de bomba submarina preferivelmente compreende uma ou mais de grade de Bragg de fibra ótica ou Detecção Acústica Distribuída, as fibras óticas operacionalmente arranjadas na estrutura do equipamento submarino ou equipamento rotativo submarino. Preferivelmente, o sistema de bomba da invenção também compreende fibra ótica de Detecção de Temperatura Distribuída (DTS), particularmente arranjada na trajetória de fluxo de fluido de processo ou volumes e à jusante de um restringidor de desvio, que é particularmente útil para detectar risco de formação de hidratos durante restrição de fechamento ou desvio. Além do mais, o sistema de bomba submarina preferivelmente compreende sensores de corrente de

fibra ótica usando o efeito Faraday para modular a polarização na presença de um campo magnético, em que os ditos sensores são arranjados fora dos elementos condutores ou dentro dos elementos condutores, incluindo o umbilical.

[0017] Como mencionado, as vantagens do sistema de bomba submarina da invenção basicamente dizem respeito ao custo e confiabilidade. Para cada sensor ou cada parâmetro a ser medido em um local submarino específico, uma estimativa grosseira é que 0,1 a 1 milhão de USD serão economizados em custo de capital, antes da instalação. O sistema de bomba submarina da invenção preferivelmente compreende diversos sensores de fibra ótica em cada fibra, preferivelmente compreende pelo menos três sensores de fibra ótica operacionalmente arranjados através do umbilical e no equipamento submarino, e preferivelmente pelo menos uma fibra ou sensor redundante para cada parâmetro e localização. O resultado é uma melhoria muito significante na confiabilidade. Além do mais, uma vez que a instalação submarina envolve somente uma, opcionalmente nenhuma, união de conector submarino molhado, uma vez que todos os sensores são pré-instalados e emendados por fusão, uma grande simplificação para instalação também será conseguida. Instalação mais rápida e mais simples significa redução significante no custo. Além disso, os sensores de fibra ótica têm a vantagem por não serem afetados pelo eletromagnetismo, permitindo medições em locais onde sensores eletrônicos podem não funcionar.

FIGURAS

[0018] A Figura 1 ilustra uma modalidade de um sistema de bomba submarina da invenção.

[0019] A Figura 2 ilustra detalhes do dito sistema.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0020] É feita referência à Figura 1. Uma bomba submarina (1) é conectada ao sistema força e comunicação do convés superior (24) por meio de um umbilical (23) contendo cabo de transmissão de força (19) e fibra ótica (15, 16, 17). O umbilical é terminado em uma unidade de terminação do umbilical do convés superior (18) e unidade de terminação do umbilical submarina (14). A unidade de terminação do

umbilical submarino (14) inclui conectores conjugados molhados (13) para cabos de força e fibras óticas. Fibras óticas submarinas (15a, 16a, 17a) que formam a instrumentação submarina são conectadas à terminação do umbilical submarino através de um ou mais conectores machos molhados (13). Nesta modalidade: uma primeira fibra (15a) pode estar medindo vibração, por exemplo, usando detecção acústica distribuída; uma segunda fibra (16a) representa uma fibra acoplada às linhas de fluxo da estação de bomba para medição de temperatura distribuída; uma terceira fibra (17a) é uma fibra com um ou mais sensores Fabry Perot para medições de pressão (10,11) com a mesma fibra estendida para medir deformação ou pressão (8,9) para densidade de fluido do tanque. Mais especificamente, o sistema inclui um tanque de condicionamento de fluido (5) que separa as fases líquida e gasosa de um poço submarino e fornece uma fração volumétrica média de fluido e gás na entrada da bomba (3), obtido tendo-se um tubo de saída perfurado se estendendo até o volume do tanque. Na saída da bomba (25) fica um tanque de conservação de líquido (6) que garante que uma porcentagem de líquido é circulada de volta para a entrada da bomba, por meio de uma linha separada de uma parte cheia com líquido do dito tanque para à montante da bomba. O nível de fluido em ambos os tanques pode ser estimado pelo uso de um cilindro de teste, também denominado um elemento de flutuabilidade, de densidade conhecida (4, 7), que é localizado dentro dos tanques tanto com um extensômetro ótico quanto um manômetro ótico (8, 9) mecanicamente afixado à estrutura de suspensão de sustentação de carga entre os cilindros de teste (4,7) e os tanques (5,6), respectivamente. À medida que o nível de fluido aumenta, o peso do cilindro de teste (4, 7) diminui por causa da flutuabilidade pelo deslocamento de fluido. Este deslocamento é medido através de medidores (8, 9). Um benefício desta abordagem é que provê uma medição de densidade de fluido líquida no tanque da qual o nível pode ser inferido por cálculo. A medição de densidade líquida é também uma entrada útil para o algoritmo de controle da bomba já que está relacionada com a densidade de fluido na entrada da bomba.

[0021] Medições tais como aquelas aqui mencionadas podem ser incluídas na mesma fibra ou em fibras adicionais. De qualquer maneira, a fibra usada para medição

é estendida através do umbilical (23) e a medição feita do convés superior sem a necessidade dos componentes eletrônicos submarinos.

[0022] O sistema de bomba submarina e intensificador de pressão submarino da invenção podem incluir cada recurso ou etapa aqui descrita ou ilustrada, em qualquer combinação operacional, cujas combinações operacionais são modalidades da invenção.

[0023] A invenção também provê um intensificador de pressão submarino, compreendendo um compartimento da bomba ou compartimento do compressor com impulsores e difusores e um compartimento do motor com um motor operacionalmente acoplado para girar os impulsores, e um arranjo de lubrificação para lubrificação do compartimento dos mancais do motor, vedações e enrolamentos das bobinas, característico em que o intensificador de pressão submarino compreende pelo menos um sensor de fibra ótica arranjado no compartimento do motor ou em uma parte do circuito de lubrificante arranjado de e para o dito compartimento do motor, para monitorar a vazão de lubrificante, e preferivelmente todos os sensores submarinos consistem de sensores de fibra ótica e todos os componentes eletrônicos para monitoramento e controle consistem de componentes eletrônicos arranjados no convés superior. A vazão do lubrificante, tipicamente um óleo ou uma mistura de água-glicol, é um parâmetro vital para monitorar um intensificador de pressão submarino, dando um parâmetro monitorado direto que fornece alerta antecipado se a vazão de lubrificante cair ou aumentar fora de uma janela de operação adequada, cujo parâmetro não é mencionado ou implícito pelo preceito da Smart Fibers ou pelo relatório descritivo de patente US 2015/0110439 A1. Preferivelmente, a vazão de lubrificante é medida na entrada de lubrificante e na saída de lubrificante de um mancal ou outro componente, usando sensores de pressão de fibra ótica de Fabry-Perot, relacionando a queda de pressão de lubrificante no componente a uma vazão de lubrificante e uma velocidade do motor. Mais especificamente, um impulsor ou bomba de lubrificante é acionado diretamente ou é operacionalmente acoplado, tipicamente com um acoplamento 1 a 1, ao motor, significando que a vazão de lubrificante é diretamente relacionada à velocidade do motor. Para uma velocidade de

motor conhecida ou medida, a queda de pressão de lubrificante em um componente é então diretamente relacionada à vazão de lubrificante. Alternativamente, sensores de fibra ótica de Fabry-Perot são arranjados para medir deformação ou tensão para uma restrição em uma entrada ou saída de lubrificante, ou tanto na entrada quanto na saída, a deformação ou tensão medida se relacionada com a vazão de lubrificante. Fluxímetros de vórtice de FBG podem ser usados, mas são menos viáveis para medir vazão de lubrificante por causa de limitações com relação a vibrações, alta viscosidade do lubrificante na partida e dimensões muito pequenas nos locais para medições. A vazão de lubrificante é preferivelmente medida para cada mancal de um eixo do motor. Sensores de pressão de fibra ótica de Fabry-Perot ou de pressão diferencial e outros sensores de fibra ótica ou arranjos, são arranjados em uma única fibra ótica ou em diversas fibras óticas. Além do mais, pressão e temperatura são preferivelmente também medidas, bem como vibração e outros parâmetros, preferivelmente apenas com sensores de fibra ótica submarinos e componentes eletrônicos meramente no convés superior.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de bomba submarina, compreendendo:

uma bomba submarina (1),

um tanque de condicionamento de fluido (5),

um tanque de conservação de líquido (6),

uma linha arranjada para recirculação de líquido do tanque de conservação de líquido para à montante da bomba submarina, e

um umbilical (23) para força, monitoramento e controle,

em que o tanque de condicionamento de fluido é arranjado à montante da bomba submarina que é arranjada à montante do tanque de conservação de líquido,

caracterizado pelo fato de que o sistema compreende adicionalmente:

um primeiro elemento de flutuabilidade (4) suspenso no tanque de condicionamento de fluido,

um segundo elemento de flutuabilidade (7) suspenso no tanque de conservação de líquido,

sensores de fibra ótica (16), pelo menos arranjados em uma suspensão do elemento de flutuabilidade no tanque de condicionamento de fluido e em uma suspensão do elemento de flutuabilidade no tanque de conservação de líquido, e

componentes eletrônicos (20, 21 ,22),

preferivelmente todos os sensores submarinos consistem de sensores de fibra ótica e todos os componentes eletrônicos para monitoramento e controle consistem de componentes eletrônicos arranjados no convés superior.

2. Sistema de bomba submarina, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende um único conector macho molhado (13) conectando o umbilical à bomba submarina e aos sensores de fibra ótica da bomba submarina, ao tanque de condicionamento de fluido e ao tanque de conservação de líquido.

3. Sistema de bomba submarina, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que compreende sensores de fibra ótica no umbilical para medir tanto a temperatura quanto deformação de carregamento dinâmico do umbilical.

4. Sistema de bomba submarina, de acordo com a reivindicação 1, 2 ou 3, caracterizado pelo fato de que compreende um ou mais sensores de pressão e temperatura de fibra ótica de Fabry Perot.

5. Sistema de bomba submarina, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que compreende sensores de fibra ótica para monitoramento do nível de líquido usando pressão diferencial, no tanque de condicionamento de fluido e no tanque de conservação de líquido.

6. Sistema de bomba submarina, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que compreende arranjos de sensores de grade de Bragg de fibra ótica afixados à suspensão do elemento de flutuabilidade no tanque de condicionamento de fluido e à suspensão do elemento de flutuabilidade no tanque de conservação de líquido.

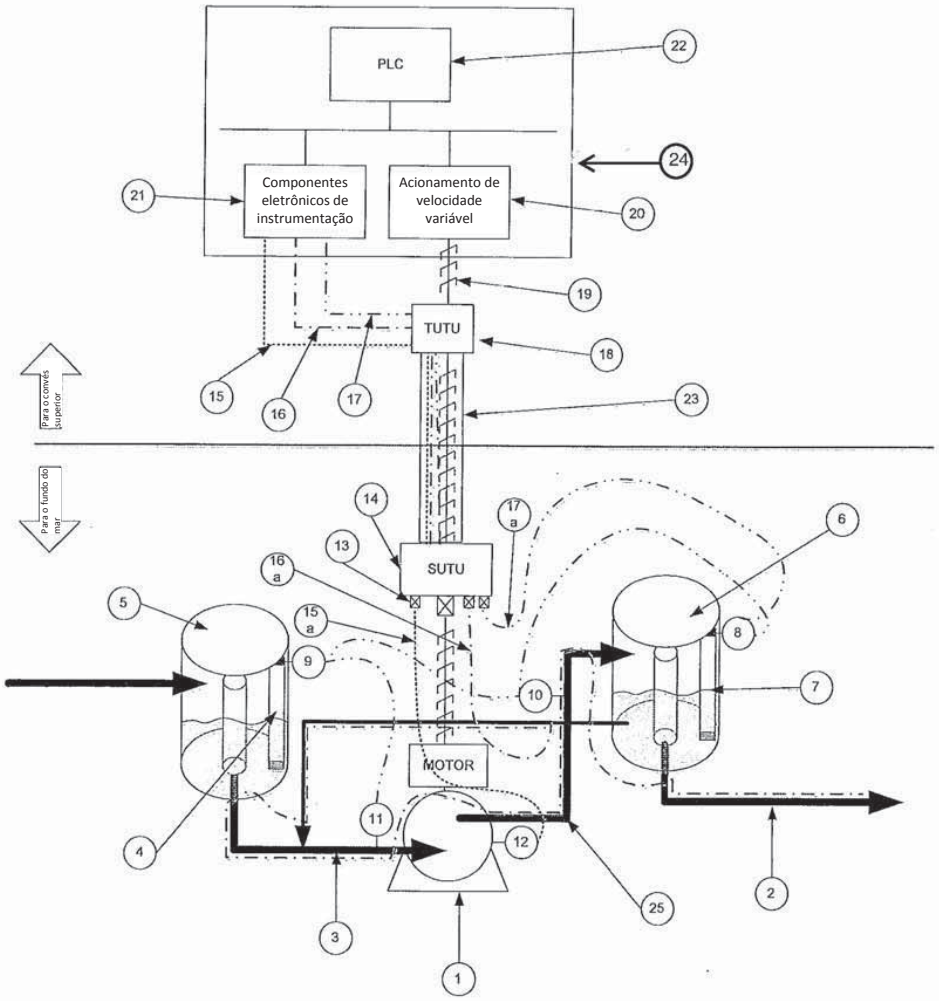
7. Sistema de bomba submarina, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que compreende grade de Bragg de fibra ótica ou Detecção Acústica Distribuída como fibras óticas operacionalmente arranjadas na estrutura do equipamento submarino ou equipamento rotativo submarino.

8. Sistema de bomba submarina, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que compreende sensores de fibra ótica de corrente usando efeito Faraday para modular a polarização na presença de um campo magnético, em que os ditos sensores são arranjados fora dos elementos condutores ou dentro dos elementos condutores.

9. Intensificador de pressão submarino, compreendendo um compartimento da bomba ou compartimento do compressor com impulsores e difusores e um compartimento do motor com um motor operacionalmente acoplado para girar os impulsores, e um arranjo de lubrificação para lubrificação dos mancais do compartimento do motor, vedações e enrolamentos de bobina, caracterizado pelo fato de que o intensificador de pressão submarino compreende pelo menos um sensor de fibra ótica arranjado no compartimento do motor ou em uma parte do circuito de lubrificante arranjada de e para o dito compartimento do motor, para monitorar a vazão

de lubrificante, e preferivelmente todos os sensores submarinos consistem de sensores de fibra ótica e todos os componentes eletrônicos para monitoramento e controle consistem de componentes eletrônicos arranjados no convés superior.

Fig. 1


PLC
22
24
Componentes eletrônicos de instrumentação
Acionamento de velocidade variável
21
20
19
TUTU
18
15
16
17
23
Para o convés superior
Para o fundo do mar
14
13
16 a
17 a
SUTU
6
5
15 a
9
8
10
7
MOTOR
11
12
4
25
2
3
1

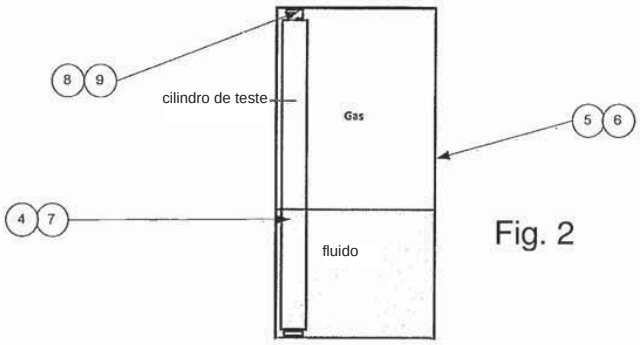

8 9
cilindro de teste
Gas
5 6
4 7
fluido

Fig. 2