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

(11) PI 1104205-2 B1

BRPI1104205B1

(22) Data do Depósito: 24/08/2011

(45) Data de Concessão: 03/11/2020

(54) Título: APARELHO PARA USO NA DETERMINAÇÃO DE UMA PLURALIDADE DE CARACTERÍSTICAS DE UM FLUXO MULTIFÁSICO NO INTERIOR DE UMA TUBULAÇÃO

(51) Int.Cl.: G01F 1/00.

(30) Prioridade Unionista: 24/08/2010 US 12/862,123.

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY.

(72) Inventor(es): EDWARD RANDALL FURLONG.

(57) Resumo: APARELHO PARA USO NA DETERMINAÇÃO DE UMA PLURALIDADE DE CARACTERÍSTICAS DE UM FLUXO MULTIFÁSICO NO INTERIOR DE UMA TUBULAÇÃO. Trata-se de um aparelho (10) para uso na determinação de uma pluralidade de características (100) de um fluxo multifásico (200) no interior de uma tubulação (300). Em uma realização exemplificadora, o aparelho (10) compreende uma primeira constrição (14) e uma segunda constrição (16), uma zona abrigada (20) entre a primeira constrição (14) e a segunda constrição (16), um dispositivo de detecção (30) acoplado a uma parede interior (302) da tubulação (300), e um dispositivo abrigado (40) acoplado à parede interior (302) da tubulação (300) e localizado no interior da zona abrigada (20). Uma primeira característica da pluralidade de características (100) é determinável a partir dos dados gerados pelo dispositivo de detecção (30). Uma segunda característica da pluralidade de características (100) é determinável a partir dos dados gerados pelo dispositivo abrigado (40). Em uma realização exemplificadora, a primeira característica é uma fração (102), e o dispositivo de detecção (30) é uma pluralidade de sensores de pressão. Em outra realização exemplificadora, a segunda característica é uma fração fásica (106), e o dispositivo abrigado (40) é uma pluralidade de eletrodos de espectroscopia de impedância elétrica (EIS).

“APARELHO PARA USO NA DETERMINAÇÃO DE UMA PLURALIDADE DE CARACTERÍSTICAS DE UM FLUXO MULTIFÁSICO NO INTERIOR DE UMA TUBULAÇÃO”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se, em geral, a medidores de fluxo e, mais particularmente, a um medidor de fluxo aprimorado para uso na determinação de uma pluralidade de características de um fluxo que compreende mais de uma fase de matéria, como líquida e gasosa (um fluxo “multifásico”), no interior de uma tubulação.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] Os medidores de fluxo fornecem medições críticas quanto às características de um fluxo multifásico no interior de uma tubulação. Por exemplo, na indústria petrolífera, há várias situações em que existe uma necessidade de usar um medidor de fluxo para determinar uma fração da fase gasosa (a “fração gasosa”) e uma fração da fase líquida (a “fração líquida”) que compreende o fluxo multifásico. Um medidor de fluxo do tipo venturi duplo pode ser usado para esse propósito. Em um medidor de fluxo do tipo venturi duplo típico, há duas constrições, sendo que cada uma é formada por uma seção cônica de constrição separada e uma seção cônica de expansão separada. Diferenças na pressão do fluxo multifásico através das constrições exibem uma relação empírica com a fração gasosa e a fração líquida. As diferenças na pressão podem ser determinadas a partir dos dados gerados por sensores de pressão montados no interior do medidor de fluxo. Cada sensor de pressão tem uma face que pode ser suscetível à erosão como resultado do impacto de partículas, como areia, presentes no interior do fluxo multifásico. Essa suscetibilidade é exacerbada se a face é projetada a partir de uma parede interior da tubulação.

[003] Além disso, em um medidor de fluxo do tipo venturi típico, as seções cônicas de constrição se constringem em um ângulo de trinta graus, e as seções cônicas de expansão se expandem em um ângulo de cinco graus. O ângulo das seções cônicas de expansão, em particular, pode somar significativamente ao comprimento do medidor de fluxo. O comprimento do medidor de fluxo pode ser de dez a quinze vezes o diâmetro da tubulação, e o diâmetro pode estar entre 76,2 centímetros (trinta polegadas) e 114,3 centímetros (quarenta e cinco polegadas).

[004] Os comprimentos agregados de um medidor de fluxo do tipo venturi duplo e de um segundo tipo de medidor de fluxo podem impedir a sua instalação em série coletiva no interior de uma árvore de natal submarina, que é um conjunto de válvulas, bobinas e encaixes usados para controlar o fluxo para dentro ou para fora de um poço submarino, como um poço de petróleo ou um poço de gás. Exemplos de árvores de natal submarinas incluem árvores convencionais, de furo duplo, de furo único, entre linha de fluxo (TFL), horizontal, horizontal em linha de lama, de válvula lateral, e entre árvore de furo (TBT). Em um cenário possível de uso prático, após a fração gasosa e a fração líquida serem determinadas com o uso de um medidor de fluxo do tipo venturi duplo, pode ser desejoso determinar uma composição líquida do fluxo multifásico com o uso de um medidor de fluxo de corte de água. A composição líquida pode indicar a quantidade de hidrocarbonetos líquidos e a quantidade de água presente na fração líquida. Entretanto, a quantidade de espaço no interior de uma árvore de natal submarina pode não acomodar ambos um medidor de fluxo do tipo venturi duplo e um medidor de fluxo de corte de água para uso na determinação de cada fração gasosa, fração líquida e composição líquida.

[005] Pode ser vantajoso fornecer um medidor de fluxo que possa ser usado no interior de uma árvore de natal submarina para determinar

uma pluralidade de características de um fluxo multifásico que são tipicamente determinadas por meio do uso de um medidor de fluxo do tipo venturi duplo e um segundo tipo de medidor de fluxo, e que abrigue dispositivos montados no mesmo pelo impacto por partículas no interior do fluxo multifásico.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[006] Em uma realização, um aparelho para uso na determinação de uma pluralidade de características de um fluxo multifásico no interior de uma tubulação compreende primeiras e segundas constrições, uma zona abrigada entre as primeiras e as segundas constrições, um dispositivo de detecção acoplado a uma parede interior da tubulação, e um dispositivo abrigado acoplado à parede interior da tubulação e localizado no interior da zona abrigada. Uma primeira característica da pluralidade de características é determinável a partir dos dados gerados pelo dispositivo de detecção. Uma segunda característica da pluralidade de características é determinável a partir dos dados gerados pelo dispositivo abrigado.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[007] Para que os recursos da invenção possam ser compreendidos, uma descrição detalhada da invenção pode ser obtida por referência a certas realizações, algumas das quais são ilustradas nos desenhos anexos. Deve-se notar, entretanto, que os desenhos ilustram apenas certas realizações desta invenção e, portanto, não devem ser considerados limitadores do seu escopo, visto que o escopo da invenção abrange outras realizações igualmente eficazes. Os desenhos não estão necessariamente em escala, sendo a ênfase depositada, em geral, sobre a ilustração dos recursos de certas realizações da invenção. Dessa forma, para compreender melhor a invenção, uma referência pode ser feita à descrição detalhada a seguir, lida em conjunto com os desenhos, em que:

A figura 1 é uma vista lateral em seção transversal de um

aparelho de acordo com uma realização exemplificadora da invenção.

A figura 2 é uma configuração de eletrodos de espectroscopia de impedância elétrica (EIS) no interior de um aparelho de acordo com uma realização exemplificadora da invenção.

A figura 3 é uma configuração alternativa de eletrodos de EIS no interior de um aparelho de acordo com uma realização exemplificadora da invenção.

A figura 4 é uma vista lateral em seção transversal alternativa de um aparelho de acordo com uma realização exemplificadora da invenção.

A figura 5 é uma vista lateral em seção transversal alternativa do aparelho 10 de acordo com uma realização exemplificadora da invenção.

A figura 6 é um diagrama de blocos de características de um fluxo multifásico que pode ser determinado por meio do uso de um aparelho de acordo com uma realização exemplificadora da invenção.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO

[008] A figura 1 é uma vista lateral em seção transversal de um aparelho 10 de acordo com uma realização exemplificadora da invenção. O aparelho 10 pode ser usado para determinar uma pluralidade de características 100 (mostradas na figura 4) de um fluxo multifásico 200 no interior de uma tubulação 300. O aparelho 10 pode compreender uma primeira seção cilíndrica 12 que conduz a uma primeira constrição 14, uma segunda constrição 16 que conduz a uma segunda seção cilíndrica 18, uma zona abrigada 20 entre a primeira constrição 14 e a segunda constrição 16, um dispositivo de detecção 30 acoplado a uma parede interior 302 da tubulação 300, e um dispositivo abrigado 40 acoplado à parede interior 302 e localizado no interior da zona abrigada 20. A primeira constrição 14 e a segunda constrição 16 podem causar um efeito venturi sobre o fluxo multifásico 200. Um efeito venturi é uma redução na pressão do fluido que resulta quando um fluido circula através de

uma seção constrita de uma tubulação. A diferença na pressão do fluido antes da constrição e durante a constrição (uma “pressão diferencial” ou “DP”) segue a equação de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^{\,2} + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^{\,2} + \rho g h_1 \qquad (1)$$

em que P_1 é a pressão do fluido antes da constrição, P_2 é a pressão do fluido durante a constrição, v_1 é a velocidade do fluido antes da constrição, v_2 é a velocidade do fluido durante a constrição, h_1 é a altura em que P_1 e v_1 foram medidas, h_2 é a altura em que P_2 e v_2 foram medidas, g é a constante gravitacional e ρ é a densidade do fluido.

[009] À medida que a pressão do fluido diminui, a velocidade do fluido aumenta através da constrição para satisfazer a equação da continuidade, que corresponde à proposição de que a quantidade total de fluido no interior de qualquer região de uma tubulação pode ser alterada apenas pela quantidade que passa dentro ou fora da região através dos seus limites. A velocidade elevada do fluxo multifásico 200 através da primeira constrição 14 pode fazer com que as partículas, como areia, contidas nas mesmas percorram uma área central da zona abrigada 20 de modo que as partículas sejam menos suscetíveis a impactar e erodir o dispositivo abrigado 40 e o dispositivo de detecção 30, caso o dispositivo de detecção 30 esteja localizado no interior da zona abrigada 20.

[010] A zona abrigada 20 pode compreender uma seção cônica 22 que se expande a partir da primeira constrição 14 e uma seção cilíndrica abrigada 24 que se estende a partir da seção cônica 22. A segunda seção cilíndrica 18 pode ser mais curta que a seção cônica 22, de modo que o comprimento do aparelho 10 pode ser menor que o de um medidor de fluxo do tipo venturi duplo típico e pode facilitar a instalação do aparelho 10 no interior de uma árvore de natal submarina. Na seção cônica 22, o fluxo multifásico 200

pode recuperar uma fração da pressão perdida durante o percurso através da primeira constrição 14. Isso se deve ao fato de que, de acordo com o efeito venturi, as alterações na área em seção transversal de uma tubulação causam alterações na pressão do fluido que circula através da área em seção transversal. Dessa forma, ainda de acordo com o efeito venturi, o fluxo multifásico 200 pode novamente perder pressão durante o percurso através da segunda constrição 16.

[011] Em uma realização exemplificadora, um diâmetro de tubulação 300 na seção cilíndrica abrigada 24 pode ser maior que um diâmetro de tubulação 300 na primeira seção cilíndrica 12 e um diâmetro de tubulação 300 na segunda seção cilíndrica 18, e o diâmetro de tubulação 300 na primeira seção cilíndrica 12 e o diâmetro de tubulação 300 na segunda seção cilíndrica 18 podem ser iguais. Dessa forma, duas regiões topologicamente diferentes podem ser dispostas em série no aparelho 10, sendo a primeira caracterizada pela primeira seção cilíndrica 12, primeira constrição 14 e seção cônica 22, e sendo a segunda caracterizada por uma cavidade 26 que se estende a partir da zona abrigada 20 e se constringe na segunda constrição 16, segunda constrição 16 e segunda seção cilíndrica 18.

[012] O dispositivo de detecção 30 pode ser uma pluralidade de sensores de pressão localizados dentro e/ou fora da zona abrigada 20 e pode compreender uma face 32 sobre a qual a pressão exercida pelo fluxo multifásico 200 pode ser medida. A face 32 de pelo menos um dos sensores de pressão pode ser embutida na parede interior 302. Uma vantagem que pode ser efetuada na prática dessa realização é que a face 32 pode ser protegida do impacto de partículas, como areia, contidas no fluxo multifásico 200. Um subconjunto de sensores de pressão pode ser posicionado antes e em cada primeira constrição 14 e segunda constrição 16 de modo que duas pressões diferenciais possam ser determinadas.

[013] Em uma realização exemplificadora da invenção, o dispositivo abrigado 40 é uma pluralidade de eletrodos de espectroscopia de impedância elétrica (EIS), cada um dos quais pode medir uma impedância do fluxo multifásico 200. A impedância do fluxo multifásico 200 pode ser uma dentre a capacitância, condutância, resistência, admitância ou indutância do fluxo multifásico 200.

[014] A figura 2 é uma configuração de eletrodos de espectroscopia de impedância elétrica (EIS) no interior do aparelho 10 de acordo com uma realização exemplificadora da invenção. Pelo menos um dos eletrodos de EIS pode ter uma face 42 e uma coluna 44. Cada face 42 pode ser integrada a um material dielétrico 50 que está disposto em torno de uma circunferência interior 304 da tubulação 300. O material dielétrico 50 pode ser qualquer material com condutividade elétrica ou térmica desprezível, como o vidro. A circunferência interior 304 pode estar situada no interior da zona abrigada 20. A coluna 44 pode ser vedada no material dielétrico 50 e pode ser inserida na parede interior 302.

[015] A figura 3 é uma configuração alternativa de eletrodos de EIS no interior do aparelho 10 de acordo com uma realização exemplificadora da invenção. Cada um dentre pelo menos dois dos eletrodos de EIS pode estar contido no interior de uma vedação 46 e pode estar disposto em uma configuração de anel 60 que envolve a circunferência interna 304. A vedação 46 pode consistir em vidro e metal, sendo que o vidro serve tanto como uma vedação quanto um isolante. Em uma outra realização exemplificadora, a configuração de anel 60 pode compreender um primeiro anel e um segundo anel com oito dos eletrodos de EIS no primeiro anel e oito dos eletrodos de EIS no segundo anel.

[016] A figura 4 é uma vista lateral em seção transversal alternativa do aparelho 10 de acordo com uma realização exemplificadora da

invenção. Na realização exemplificadora mostrada, o dispositivo abrigado 40 é um sensor de microondas. O sensor de microondas pode estar localizado na zona abrigada 20 na cavidade 26 e pode operar a fim de gerar um campo eletromagnético no interior da tubulação 300 para a interação com o fluxo multifásico 200.

[017] A figura 5 é uma vista lateral em seção transversal alternativa do aparelho 10 de acordo com uma realização exemplificadora da invenção. Na realização exemplificadora mostrada, o dispositivo abrigado 40 é um par de transdutores ultrassônicos. Embora a figura 5 mostre um único par de transdutores acoplados à parede interior 302 dentro da zona abrigada 20 e que formam uma única trajetória ultrassônica 70, será compreendido por um elemento de habilidade comum na técnica que dois ou mais pares de transdutores, cada um formando trajetórias ultrassônicas separadas, podem ser acoplados à parede interior 302 no interior da zona abrigada 20. Com base na direção do fluxo multifásico 200, um dos transdutores pode ser instalado a montante do outro transdutor. A trajetória ultrassônica 70 pode estar no centro da tubulação 300 ou nas trajetórias cordais (*isto é.*, a trajetória fora do centro da tubulação 300). Cada transdutor, quando energizado, transmite um sinal ultrassônico ao longo da trajetória ultrassônica 70 através do fluido circulante que é recebido e detectado pelo outro transdutor.

[018] A velocidade de trajetória (V_p) do fluido calculada como uma média ao longo de uma trajetória ultrassônica 70 pode ser determinada como uma função do diferencial entre o tempo de trânsito a montante (t_{up}) (isto é., o tempo de um sinal ultrassônico que percorre a trajetória ultrassônica 70 do transdutor a jusante para a montante do transdutor a montante contra a direção do fluxo multifásico 200) e o tempo de trânsito a jusante (t_{dn}) (isto é., o tempo de um sinal ultrassônico que percorre a trajetória ultrassônica 70 do transdutor a montante para a jusante do transdutor a jusante na direção do fluxo

multifásico 200) dos sinais ultrassônicos. Na presença do fluxo de fluido, o tempo de trânsito a jusante (t_{dn}) é mais rápido (ou mais curto) que o tempo de trânsito a montante (t_{up}). Uma vez que o diferencial de tempo de trânsito (Δt) é proporcional à velocidade de trajetória (V_p) do fluido, a velocidade de trajetória (V_p) do fluido calculada como uma média ao longo da trajetória ultrassônica 70 pode ser determinada como uma função do diferencial de tempo de trânsito (Δt), bem como outros parâmetros conhecidos, como diâmetro da tubulação 300, comprimento da trajetória ultrassônica e o ângulo formado entre a trajetória ultrassônica 70 e a direção do fluxo multifásico 200, conforme mostrado na figura 5.

[019] A figura 6 é um diagrama de blocos das características 100 do fluxo multifásico 200 que podem ser determinadas por meio do uso do aparelho 10 de acordo com uma realização exemplificadora da invenção. As características 100 podem compreender a fração gasosa 102, fração líquida 104, fração fásica 106 e composição líquida 108. Uma vez que, por exemplo, a fração gasosa 102 e a fração líquida 104 podem ser determinadas com o uso de um medidor de fluxo do tipo venturi duplo, e a composição líquida 108 pode ser determinada com o uso de um medidor de fluxo de corte de água, o comprimento agregado de um medidor de fluxo do tipo venturi duplo e um medidor de fluxo de corte de água pode impedir a instalação de ambos os medidores de fluxo no interior de uma árvore de natal submarina. Uma vantagem que pode ser realizada na prática de algumas realizações do aparelho 10 é que o aparelho 10 pode ser usado para determinar cada uma das características 100 em um único aparelho então dimensionado para caber em uma árvore de natal submarina. Em uma realização exemplificadora, isso pode ser efetuado por meio do posicionamento do dispositivo abrigado 40 no interior da zona abrigada 20 do aparelho 10, e não em um medidor de fluxo separado.

[020] A fração gasosa 102 e a fração líquida 104 podem ser determinadas de quaisquer maneiras, conforme será apreciado por um elemento versado na técnica. Uma série de fórmulas exemplificadora para determinação da fração gasosa 102 e da fração líquida 104, de acordo com uma realização exemplificadora da invenção, em que o fluxo multifásico 200 é predominantemente compreendido por gás, é discutida abaixo. O teor de gás pode estar na faixa de 90 a 100 por cento, em volume, mas será tipicamente de cerca de 95% (volume).

[021] A taxa de gás monofásico é, em geral, determinada por meio da fórmula padrão a seguir, que se aplica a todos os dispositivos de pressão diferencial de aceleração de fluxo de tubulação, por exemplo, o aparelho 10:

$$Q_{g0} = \frac{\pi D^2}{4} C_d \cdot \gamma \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho_g \cdot \left(\beta^{-4} - 1\right)}}, \qquad (2)$$

em que Q_{g0} é a taxa de fluxo de gás monofásico [m^3/s], D é o diâmetro interno [m] da tubulação (por exemplo, a tubulação 300), ΔP é a pressão diferencial através da constrição de fluxo (por exemplo., a primeira constrição 14 ou a segunda constrição 16) [Pa], que pode ser determinada a partir dos dados (não mostrado) gerados pelo dispositivo de detecção 30 nas realizações em que o dispositivo de detecção 30 é uma pluralidade de sensores de pressão, ρ_g é a densidade do gás [kg/m^3],

$$\beta = \sqrt{\frac{A_{constrição}}{A_{tubulação}}} \qquad (3)$$

é a razão beta que representa a redução de seção transversal de fluxo relativa, γ é a expansibilidade do gás e C_d é o chamado coeficiente de descarga que representa uma correção relacionada ao fato de que a constrição de fluxo eficaz pode ser diferente da redução de seção transversal física.

[022] Ao usar as medições de DP para encontrar o fluxo de

massa no fluxo de gás úmido bifásico, as fórmulas padrão devem ser corrigidas quanto à aparência do líquido no gás. Isso é geralmente realizado por meio da introdução dos chamados multiplicadores bifásicos que são funções das frações individuais de gás e líquido e da densidade de cada um dos componentes. O multiplicador bifásico representa a chamada sobreleitura de pressão diferencial. O termo "sobreleitura" é usado uma vez que a pressão diferencial em relação ao líquido presente no gás é maior do que se o gás estivesse circulando isoladamente. A sobreleitura de pressão diferencial é causada pelo trabalho realizado pelo gás a fim de acelerar a fase líquida por meio da constrição de fluxo. O multiplicador bifásico, Φ_g é definido como:

$$\Phi_g = \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_g}} \qquad (4)$$

em que Δp é a pressão diferencial real, enquanto Δp_g é a pressão diferencial que seria obtida se o gás estivesse circulando isoladamente. De acordo com a teoria de Lochard-Martinelli, a taxa de gás pode ser escrita como:

$$Q_g = \frac{Q_{g0}}{\Phi_g} \qquad (5)$$

em que Q_g é a taxa de fluxo de gás em uma situação de fluxo de gás úmido bifásico, Q_{g0} é a taxa de fluxo de gás que seria obtida a partir da pressão diferencial medida, admitindo-se o fluxo de gás isoladamente, de acordo com (2), enquanto Φ_g é o chamado multiplicador bifásico corrigindo a aparência dos líquidos no gás.

[023] O multiplicador bifásico é uma função das frações individuais de gás e líquido e na razão de densidade. Esta é geralmente escrita como uma função do parâmetro de Lochard-Martinelli, X_{LM} como:

$$\Phi_g = \Phi_g\left(\alpha_g, \frac{\rho_g}{\rho_l}\right) = \Phi_g\left(X_{LM}\right) \quad \text{em que} \qquad (6)$$

$$X_{LM} = \frac{1-\alpha_g}{\alpha_g}\sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}, \qquad (7)$$

α_g é a fração do fluxo da massa de gás, ρ_g é a densidade do gás e ρ_l é a densidade do líquido. A função (6) é uma função de correlação empírica que, por exemplo,.para um dispositivo típico pode ser escrita sob a forma:

$$\Phi_g(X_{LM}) = \sqrt{1 + CX_{LM} + X^2{}_{LM}} \qquad (8)$$

$$C = \left(\frac{\rho_g}{\rho_l}\right)^n + \left(\frac{\rho_l}{\rho_g}\right)^n \qquad (9)$$

em que n é um expoente característico do dispositivo da ordem de 0,1 a 0,5.

[024] Uma vez que a taxa de gás foi encontrada de acordo com (5), a taxa de fluxo de líquido, Q_l, pode ser calculada como:

$$Q_l = Q_g \frac{1-\alpha_g}{\alpha_g} \qquad (10)$$

[025] Para poder medir as taxas de fluxo de gás e líquido individuais em uma corrente de gás úmido com o uso da estrutura nas seções acima, as densidades individuais do gás e do líquido (ρ_g e ρ_l), bem como as frações individuais de gás (α_g) e líquido (α_l=1-α_g), precisam ser conhecidas antecipadamente. As densidades podem ser geralmente encontradas a partir das medições de pressão e temperatura combinadas com os cálculos de PVT, e para uma maior exatidão, também a partir de uma medição adicional da fração de água, uma vez que as frações individuais de gás e líquido podem ser frequentemente desconhecidas e variáveis.

[026] Duas medições de DP, que contêm informações independentes (diferentes funções de Φ_g), podem ser combinadas para determinar a fração gasosa 102 e a fração líquida 104. Como resultado, uma medida de α_g, α_l, bem como as taxas de fluxo individuais de gás e líquido podem ser obtidas.

[027] Na construção de um dispositivo de DP duplo para medição individual de gás e líquido, o dispositivo de DP duplo precisa ser projetado de

modo que as duas leituras de DP sejam diferentes na medida em que contenham informações independentes. Isso pode ser realizado por meio da medição das pressões diferenciais em duas regiões topologicamente diferentes (geometrias que não podem ser transformadas umas nas outras por deformações contínuas) dispostas em série em uma seção de tubulação, por exemplo, uma primeira região caracterizada pela primeira seção cilíndrica 12, primeira constrição 14 e seção cônica 22, e uma segunda região caracterizada pela cavidade 26, segunda constrição 16 e segunda seção cilíndrica 18. O núcleo da construção de um dispositivo de DP duplo para a detecção de teor líquido é que as duas pressões diferenciais irão reagir de maneira diferente à presença de líquidos no gás.

[028] Em geral, seria possível, a partir da Eq. (2) e da Eq. (5), escrever a pressão diferencial medida nas duas regiões como funções da fração gasosa e da taxa de fluxo de gás:

$$\Delta p_1 = \Delta p_1\left(Q_g, \alpha_g\right) = C_1 {Q_g}^2 {\Phi_{g1}}^2 \rho_g \qquad (11)$$

$$\Delta p_2 = \Delta p_2\left(Q_g, \alpha_g\right) = C_2 {Q_g}^2 {\Phi_{g2}}^2 \rho_g \qquad (12)$$

em que, no modelo mais simples, C_1 e C_2 são constantes que caracterizam cada pressão diferencial, enquanto Φ_{g1} e Φ_{g2} são, respectivamente, os multiplicadores bifásicos das duas pressões diferenciais. De acordo com a estrutura nas seções acima, a razão de pressão diferencial aparece como:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} \propto \left(\frac{\Phi_{g1}}{\Phi_{g2}}\right)^2 \qquad (13)$$

[029] Se as duas regiões apresentam uma diferença na sua resposta quanto à presença de líquidos no gás, os seus respectivos multiplicadores bifásicos irão conter informações independentes, o que significa que a razão de pressão diferencial será uma função (F) do número de Lochard-Martinelli e da fração gasosa e das densidades individuais:

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = F\left(X_{LM}\right) \quad (14)$$

$$X_{LM} = X_{LM}\left(\alpha_g, \rho_l, \rho_g\right) \quad (15)$$

[030] Quando as densidades fásicas são conhecidas antecipadamente, a razão de pressão diferencial medida pode, consequentemente, ser usada para determinar a fração gasosa 102, solucionando-se as Eqs. (14) e (15) quanto à fração da massa de gás. A fração líquida 104 é encontrada a partir da fração gasosa 102, uma vez que a sua soma precisa ser igual a 1:

$$\alpha_g + \alpha_l = 1 \quad (16)$$

[031] Nas realizações em que o dispositivo abrigado 40 é uma pluralidade de eletrodos de EIS, a fração fásica 106 pode ser determinada a partir dos dados (não mostrado) sob a forma de medições de condutividade gerados pelos eletrodos de EIS ao longo da circunferência interna 304. Enquanto as fases líquidas do fluxo multifásico 200, por exemplo, água e óleo, podem conduzir eletricidade, a fase gasosa do fluxo multifásico 200 não pode. Dessa forma, a fração fásica 106 pode ser determinada por meio da porcentagem do fluxo multifásico 200 na área em seção transversal da tubulação 300 na circunferência interna 304 que conduz eletricidade dividida pela porcentagem do fluxo multifásico 200 na área em seção transversal da tubulação 300 na circunferência interna 304 que não conduz eletricidade.

[032] Nas realizações em que o dispositivo abrigado 40 é um sensor de microondas localizado na cavidade 26, a composição líquida 108 pode ser uma função de uma mudança em uma frequência de ressonância de pico em um campo eletromagnético gerado pelo sensor de microondas na cavidade 26 e de uma alteração na atenuação, sendo que a quantidade de energia no campo eletromagnético circula na cavidade 26. Uma mudança na frequência de ressonância de pico pode ser provocada por meio da interação do fluxo multifásico 200 com o campo eletromagnético, e uma alteração na

atenuação pode ser provocada, por exemplo, pela água no interior do fluxo multifásico 200 que absorve energia no campo eletromagnético. A mudança na frequência de ressonância de pico e a alteração na atenuação pode ser determinada a partir dos dados (não mostrado) gerados pelo sensor de microondas.

[033] Esta descrição por escrito usa exemplos para apresentar a invenção, incluindo o modo mais apropriado, e também para permitir que qualquer elemento versado na técnica ponha a invenção em prática, incluindo a fabricação e o uso de quaisquer dispositivos ou sistemas e a realização de quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da invenção é definido pelas reivindicações, e pode incluir outros exemplos que ocorram àqueles elementos versados na técnica. Tais outros exemplos são destinados a estarem dentro do escopo nas reivindicações caso apresentem elementos estruturais que não sejam diferentes da linguagem literal das reivindicações, ou caso incluam elementos estruturais equivalentes com diferenças insubstanciais em relação à linguagem literal das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. APARELHO (10) PARA USO NA DETERMINAÇÃO DE UMA PLURALIDADE DE CARACTERÍSTICAS (100) DE UM FLUXO MULTIFÁSICO (200) NO INTERIOR DE UMA TUBULAÇÃO (300), sendo que o aparelho (10) caracterizado por compreender:

uma primeira constrição (14);

uma segunda constrição (16);

uma zona abrigada (20) entre a primeira constrição (14) e a segunda constrição (16);

um dispositivo de detecção (30) acoplado a uma parede interior (302) da tubulação (300), em que uma primeira característica da pluralidade de características (100) é determinável a partir dos dados gerados pelo dispositivo de detecção (30); e

um dispositivo abrigado (40) acoplado à parede interior (302) da tubulação (300) e localizado no interior da zona abrigada (20) entre a primeira constrição (14) e a segunda constrição (16), em que uma segunda característica da pluralidade de características (100) é determinável a partir dos dados gerados pelo dispositivo abrigado (40), e em que a zona abrigada (20) entre a primeira constrição (14) e a segunda constrição (16) compreende:

uma seção cônica (22) que se expande a partir da primeira constrição (14); e

uma seção cilíndrica abrigada (24) que estende a partir da seção cônica (22);

em que um diâmetro de tubulação (300) na seção cilíndrica (24) pode ser maior que um diâmetro de tubulação (300) fora da zona abrigada (20) entre a primeira constrição (14) e a segunda constrição (16).

2. APARELHO (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela tubulação (300) compreender uma primeira seção cilíndrica

(12) que conduz a uma primeira constrição (14) e uma segunda constrição (16) que conduz a uma segunda seção cilíndrica (18), em que a secunda seção cilíndrica (18) da tubulação (300) é mais curta que a seção cilíndrica (24) da zona abrigada (20)

3. APARELHO (10), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizado pelo dispositivo de detecção (30) er uma pluralidade de sensores de pressão.

4. APARELHO (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela primeira característica ser uma fração gasosa (102).

5. APARELHO (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela primeira característica ser uma fração líquida (104).

6. APARELHO (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo dispositivo abrigado (40) ser uma pluralidade de eletrodos de espectroscopia de impedância elétrica (EIS).

7. APARELHO (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela segunda característica ser uma fração fásica (106).

8. APARELHO (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo dispositivo abrigado (40) ser um sensor de microondas.

9. APARELHO (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela segunda característica ser uma composição líquida (108).

10. APARELHO (10), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo dispositivo abrigado (40) ser um par de transdutores ultrassônicos.

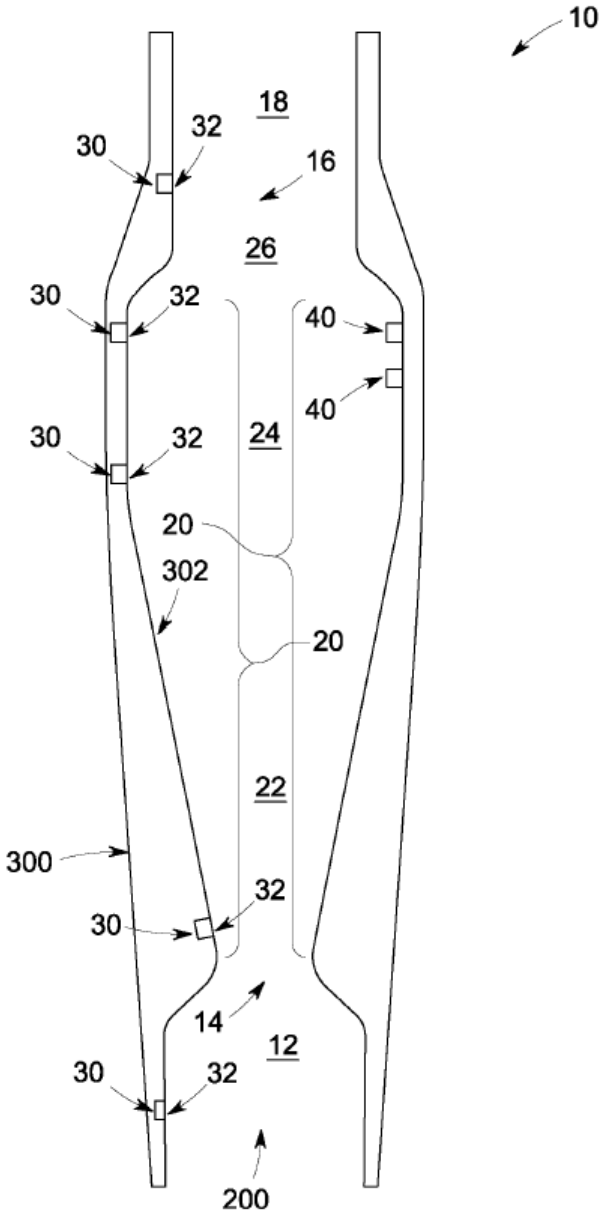
10
18
30
32
16
26
30
32
40
40
30
32
24
20
302
20
22
300
32
30
14
12
30
32
200

Fig. 1

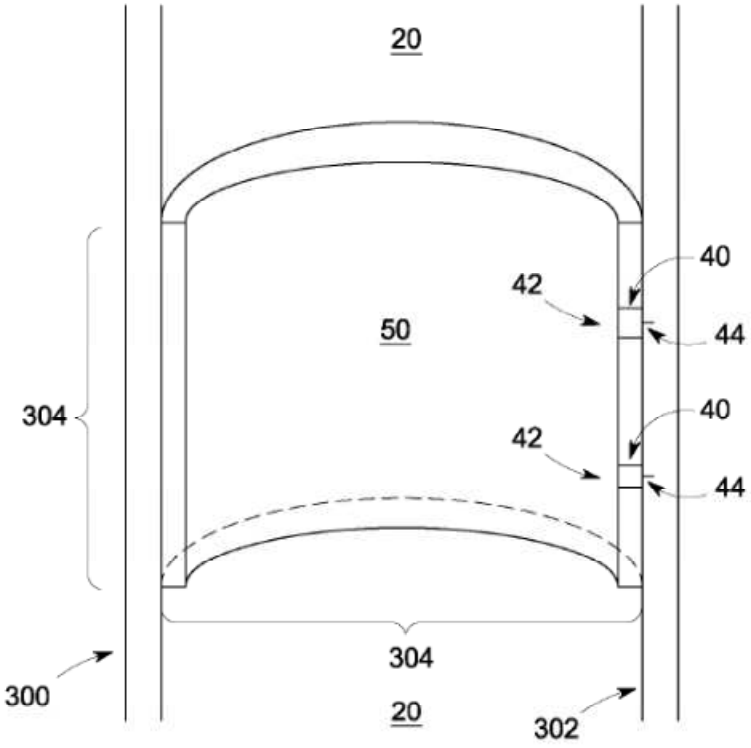

Fig. 2

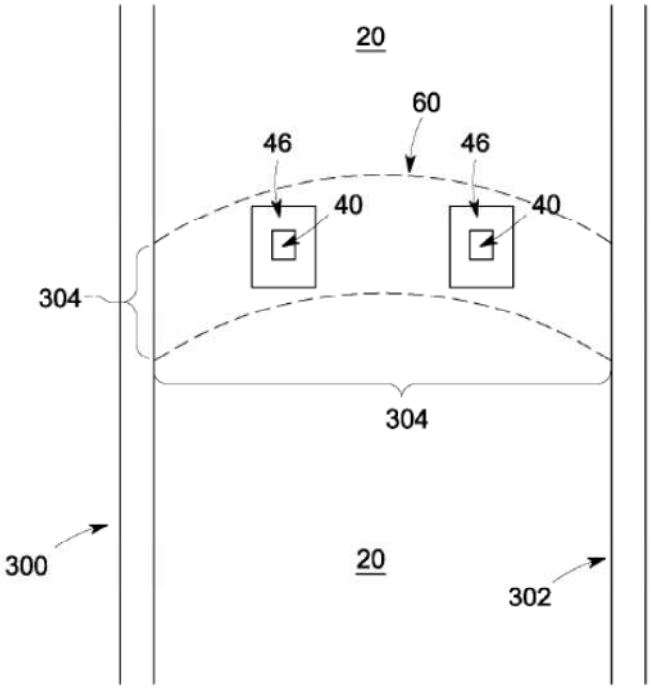

Fig. 3

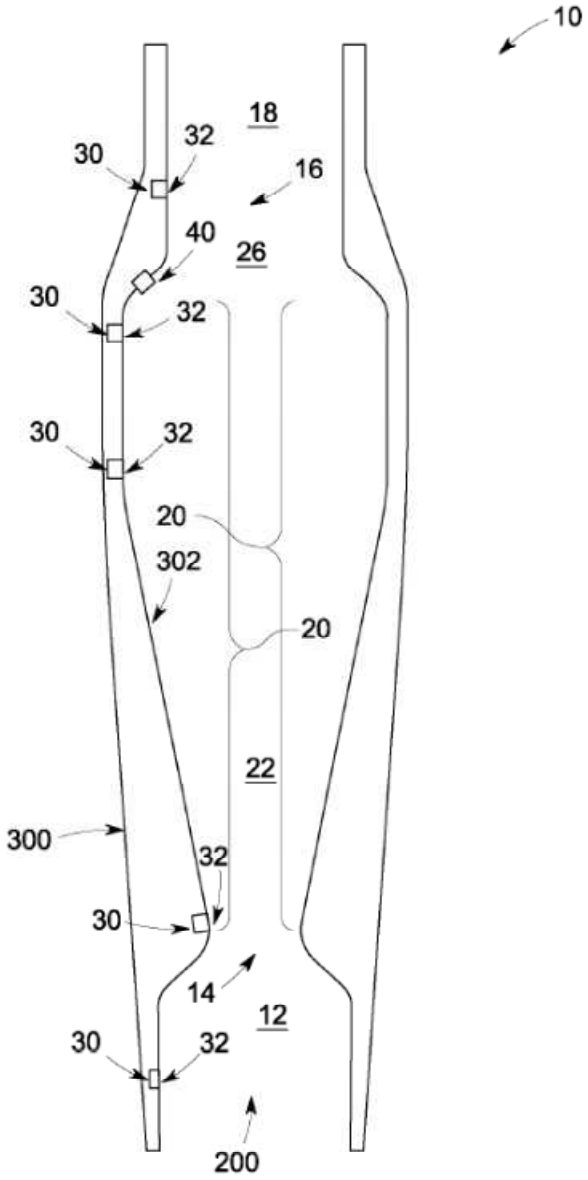

Fig. 4

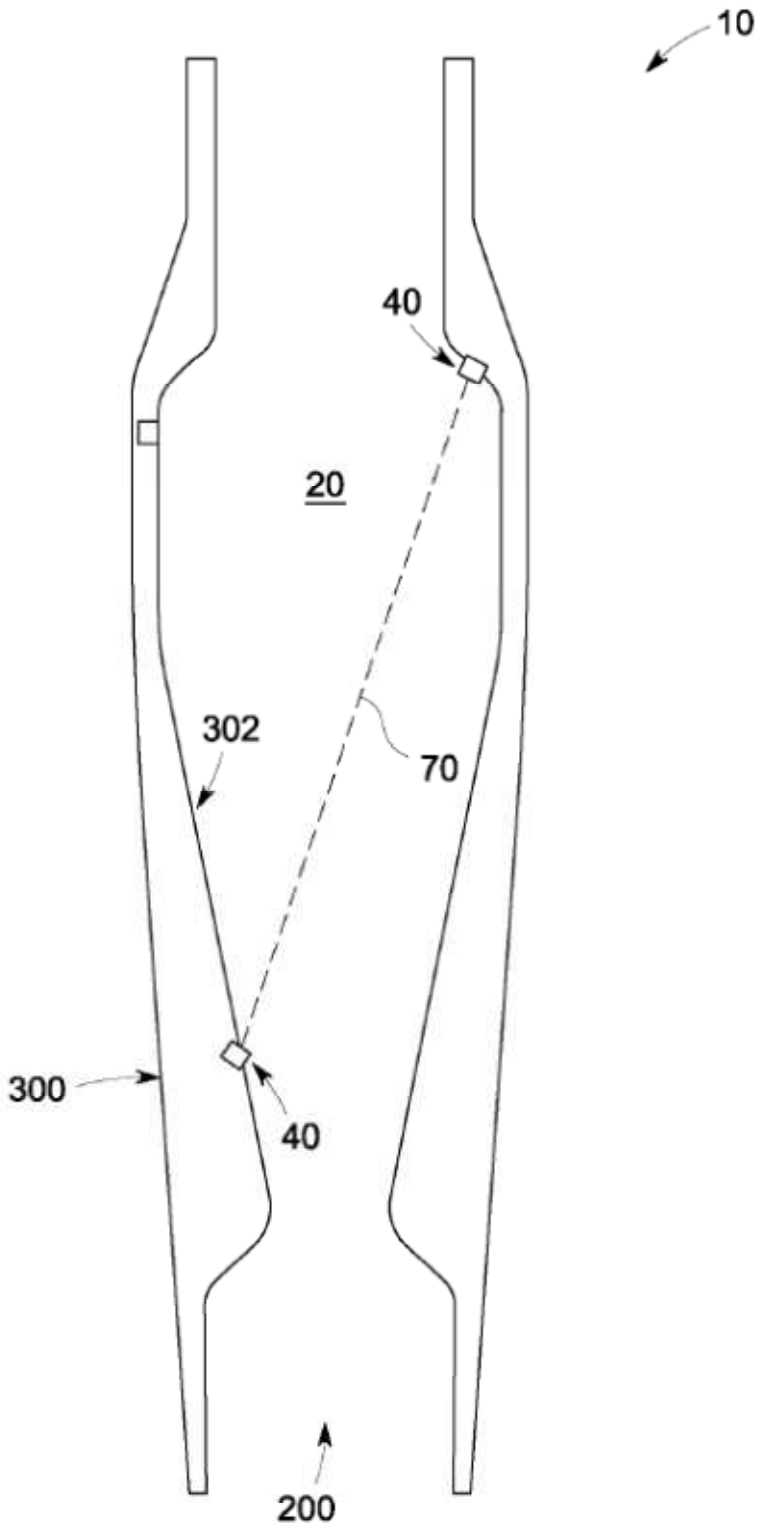

Fig. 5

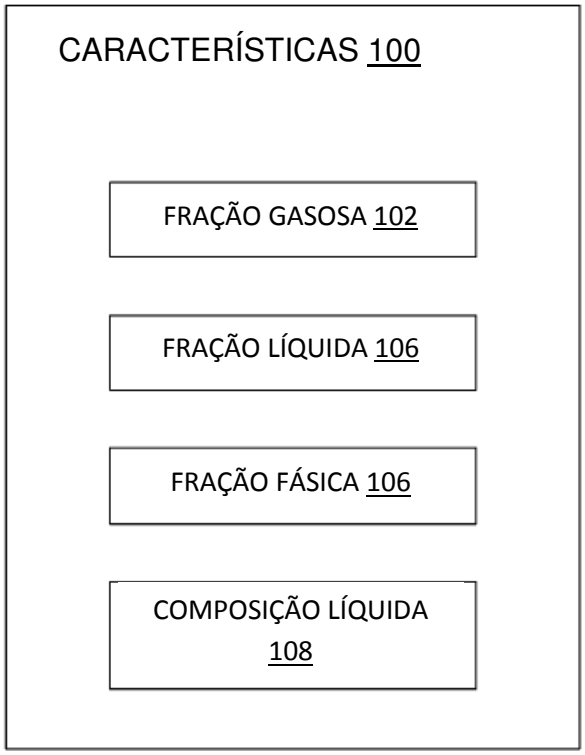
CARACTERÍSTICAS 100
FRAÇÃO GASOSA 102
FRAÇÃO LÍQUIDA 106
FRAÇÃO FÁSICA 106
COMPOSIÇÃO LÍQUIDA 108

Fig. 6