



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

**(11) PI 1100696-0 B1**



**(22) Data do Depósito: 05/01/2011**

**(45) Data de Concessão: 11/02/2020**

**(54) Título:** SENSOR TORCIONAL, SISTEMA DE LEITURA E MÉTODO PARA DETECTAR PELO MENOS UM PARÂMETRO DE UM FLUIDO

**(51) Int.Cl.:** G01F 1/66; G01N 11/02; G01K 13/02.

**(30) Prioridade Unionista:** 11/01/2010 US 12/685,388.

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

**(72) Inventor(es):** SHIVAPPA NINGAPPA GORAVAR; BASKARAN GANESAN; EDWARD RANDALL FURLONG; MANOJ KUMAR KOYITHITTA MEETHAL; VAMSHI KRISHNA REDDY KOMMAREDDY; XIAOLEI SHIRLEY AO.

**(57) Resumo:** SENSOR TORCIONAL, SISTEMA DE LEITURA E MÉTODO PARA DETECTAR PELO MENOS UM PARÂMETRO DE UM FLUIDO. Trata-se de um sensor torcional (16) para detectar pelo menos um parâmetro de um fluido (12). O sensor torcional (16) inclui uma porção torcional (20) acoplada a uma porção de referência (18) e inclui uma pluralidade de projeções (38) as quais se estendem para fora e são separadas entre si. Pelo menos uma porção do sensor torcional (16) é montável para imersão no fluido (12) e operável para propagar uma onda torcional que interage com o fluido (12) ao longo pelo menos da porção do sensor torcional (16) tal que afete a propagação da onda torcional em um modo dependente de pelo menos um parâmetro do fluido (12).

## **“SENSOR TORCIONAL, SISTEMA DE LEITURA E MÉTODO PARA DETECTAR PELO MENOS UM PARÂMETRO DE UM FLUIDO”**

### **CAMPO DA INVENÇÃO**

[001] A invenção refere-se geralmente a um sensor torcional usado para a medição de pelo menos um parâmetro de um fluido através da propagação de energia da onda torcional ao longo do sensor torcional localizado parcialmente em contato com o fluido.

### **ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

[002] No controle do processo industrial, muitas vezes exige-se determinar pelo menos um parâmetro atribuído a fluidos ao longo de trajetórias de fluxo, por exemplo, em tubos. Os parâmetros podem incluir densidade do fluido, velocidade do fluido, nível do fluido, temperatura, fase do fluido ou similares. Existem inúmeros sensores conhecidos, que são usados para a detecção de parâmetros associados aos fluidos.

[003] Um dentre tais sensores usados para a detecção de parâmetros associados aos fluidos é um sensor torcional. Nesse dispositivo, o sensor torcional é parcialmente inserido no fluido cuja propriedade precisa ser medida. A energia da onda é guiada ao longo do sensor mantido parcialmente em contato com o fluido. O parâmetro do fluido que circunda o sensor torcional influência nas características da onda torcional, especificamente na duração da trajetória do modo da onda. Em outras palavras, a interação da energia da onda guiada ao longo do sensor com o fluido resulta em uma velocidade inferior de propagação da energia da onda guiada ao longo do sensor, de modo que a alteração na duração da trajetória da onda, comparada com uma duração de referência com o sensor em ar ou em vácuo, forneça uma indicação de um parâmetro do fluido em contato com o sensor. Em circunstâncias particulares, em que pelo menos uma dentre a composição de fluido, geometria do recipiente e características do sensor é conhecida, uma

medição de duração de trajetória da energia da onda guiada ao longo do sensor pode fornecer uma indicação de um parâmetro do fluido. Entretanto, nenhum dos projetos de sensor torcional conhecidos resulta em um aperfeiçoamento na medição de pelo menos um parâmetro através de uma duração maior de trajetória para um modo de onda dado. Além disso, os projetos de sensor torcional conhecidos não são adequados para a medição de pelo menos um parâmetro de tipo diferente de fluidos, especificamente, fluido de uma fase, mistura de fluido de duas fases e mistura de fluido de múltiplas fases.

[004] Como resultado, existe uma necessidade contínua de um sensor torcional aperfeiçoado que se direciona pelo menos a uma dessas e outras desvantagens.

#### DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[005] De acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção, um sensor torcional para detectar pelo menos um parâmetro de um fluido é revelado. O sensor torcional inclui uma porção torcional acoplada a uma porção de referência e inclui uma pluralidade de projeções as quais se estendem para fora e são separadas entre si. Pelo menos uma porção do sensor torcional é montável para imersão no fluido e operável para propagar uma onda torcional que interage com o fluido ao longo pelo menos da porção do sensor torcional de modo que afete a propagação da onda torcional em uma maneira dependente de pelo menos um parâmetro do fluido.

[006] De acordo com outra realização exemplificadora da presente invenção, um sistema de leitura para detectar pelo menos um parâmetro de um fluido é revelado. O sistema de leitura inclui um sensor torcional que tem uma porção torcional acoplada a uma porção de referência e que inclui uma pluralidade de projeções as quais se estendem para fora e são

separadas entre si. Um dispositivo de excitação é configurado para excitar uma energia da onda no sensor torcional. Pelo menos uma porção do sensor torcional é montável para imersão no fluido e operável para propagar a energia da onda que interage com o fluido ao longo pelo menos da porção do sensor torcional de modo que afete a propagação da energia da onda em um amaneira dependente de pelo menos um parâmetro do fluido. Um dispositivo transdutor é configurado para fornecer uma excitação torcional para o sensor torcional e detectar a energia da onda da porção torcional. Um dispositivo processador é configurado para determinar pelo menos um parâmetro do fluido em resposta a uma saída do dispositivo transdutor.

[007] De acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção, um sensor torcional para detectar pelo menos um parâmetro de um fluido é revelado. O sensor torcional inclui uma porção de referência que tem pelo menos um entalhe.

[008] De acordo com outra realização exemplificadora da presente invenção, um sensor torcional para detectar pelo menos um parâmetro de um fluido é revelado. O sensor inclui uma porção de referência que inclui um primeiro material. Uma porção torcional é acoplada à porção de referência e inclui uma pluralidade de projeções as quais se estendem para fora e são separadas entre si. A porção torcional inclui um segundo material diferente do primeiro material.

[009] De acordo com outra realização exemplificadora da presente invenção, um sensor torcional para detectar pelo menos um parâmetro de um fluido é revelado. O sensor inclui uma porção de referência que tem pelo menos um entalhe que divide as porções de referência em duas ou mais sub-seções. Uma porção torcional é acoplada à porção de referência e tem uma pluralidade de projeções as quais se estendem para fora e são separadas entre si. A porção de referência e a porção torcional incluem o

mesmo material.

[0010] De acordo com outra realização exemplificadora da presente invenção, um método para detectar pelo menos um parâmetro de um fluido é revelado.

#### **BREVE DESCRIÇÃO Dos DESENHOS**

[0011] Essas e outras características, aspectos e vantagens da presente invenção se tornarão mais bem compreendidas quando a seguinte descrição detalhada for lida com referência aos desenhos em anexo cujas características semelhantes representam partes semelhantes por todos os desenhos, sendo que:

A Figura 1 é um diagrama em bloco de um sistema de leitura para detectar pelo menos um parâmetro de um fluido que flui através de um conduto de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 2 é uma vista em perspectiva de um sensor torcional exemplificador de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 3 é uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 4 é uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 5 é uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 6 é uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 7 é uma vista em perspectiva de um sensor torcional exemplificador de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 8 é uma vista em perspectiva de um sensor torcional exemplificador de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 9 é uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora de acordo com a realização exemplificadora da Figura 8;

A Figura 10 é uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 11 é uma seção transversal de uma porção torcional exemplificadora de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 12 é uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 13 é uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 14 é uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 15 é uma seção de uma porção torcional exemplificadora de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 16 é uma vista lateral de um dispositivo transdutor disposto em um sensor torcional exemplificador de acordo com uma realização

exemplificadora da presente invenção;

A Figura 17 é uma seção de um dispositivo transdutor envolvido por uma porção de referência de um sensor torcional exemplificador de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 18 é um gráfico que representa uma variação de uma amplitude versus tempo de uma onda de propagação ao longo de um sensor torcional exemplificador de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 19 é uma vista seccional de dois sensores torcionais dispostos em um conduto de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 20 é uma vista seccional de um sensor torcional disposto em um conduto de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 21 é uma vista seccional de um sensor torcional disposto em um conduto de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 22 é uma vista seccional de dois sensores torcionais dispostos em um conduto de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 23 é uma vista em seção transversal de uma pluralidade de sensores torcionais dispostos ao longo de uma seção de um conduto de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 24 é uma vista seccional de um sensor torcional disposto em um conduto de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção;

A Figura 25 é uma vista seccional de dois sensores torcionais dispostos em um conduto de acordo com uma realização exemplificadora da

presente invenção;

A Figura 26 é uma vista frontal de um sensor torcional de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção; e

A Figura 27 é uma vista frontal de um sensor torcional de acordo com uma realização exemplificadora da presente invenção.

#### **DESCRÍÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO**

[0012] Conforme discutido no presente documento abaixo, as realizações da presente invenção revelam um sensor torcional para detectar pelo menos um parâmetro de um fluido. O sensor torcional inclui uma porção de referência e uma porção torcional acoplada à porção de referência. A porção torcional inclui uma pluralidade de projeções as quais se estendem para fora e são separadas entre si. A razão de aspecto da porção torcional pode ser variada. A razão de aspecto pode se situar na faixa, mas não se limitar a 1:2 até 1:7. Pelo menos a porção do sensor torcional é montável para imersão no fluido e operável para propagar uma onda torcional que interage com o fluido ao longo pelo menos da porção do sensor torcional de modo que afete a propagação da onda torcional em uma maneira dependente de pelo menos um parâmetro do fluido. O pelo menos um parâmetro inclui densidade absoluta, perfil de densidade, nível do fluido, temperatura absoluta, perfil de temperatura, viscosidade absoluta, perfil de viscosidade, velocidade de fluxo absoluta, perfil de velocidade de fluxo, fração de fase do fluido absoluta, perfil de fração de fase do fluido ou combinações dos mesmos do fluido. O fluido pode incluir um fluido de fase única ou uma mistura de fluido de duas fases ou uma mistura de fluido de múltiplas fases. Em uma realização específica, um sistema que incorpora o sensor torcional é revelado. O projeto de sensor torcional exemplificador fornece um aperfeiçoamento substancial na resolução para medir pelo menos um parâmetro de um fluido de fase única ou uma mistura de fluido de duas fases ou uma mistura de fluido de múltiplas fases.

[0013] Com referência à Figura 1, um diagrama em bloco de um sistema de leitura 10 para detectar pelo menos um parâmetro de um fluido 12 que flui através de um conduto 14 é ilustrado. Na realização ilustrada e realizações subsequentes, o conduto pode ser uma disposição vertical ou uma disposição horizontal. Deve-se notar que mesmo embora um conduto seja revelado, o sistema de leitura 10 será aplicável a qualquer dispositivo que contenha um fluido para detectar pelo menos um parâmetro atribuído ao fluido tanto nas condições estáticos quanto de fluxo. O sistema 10 inclui um sensor torcional 16 parcialmente imerso no fluido 12 que flui através do conduto 14. O sensor torcional 16 inclui uma porção de referência 18 e uma porção torcional 20. Em uma realização específica, a porção de referência 18 é uma porção de referência em formato cilíndrico. A profundidade do sensor torcional 16 imerso no fluido 12 pode ser variada.

[0014] O sistema 10 inclui adicionalmente um dispositivo de excitação 21 que tem um gerador de onda 22 configurada para transmitir energia da onda de cisalhamento através de um amplificador 24 para o sensor torcional 16. Um dispositivo transdutor 26 é configurado para fornecer excitação de cisalhamento para o sensor torcional 16. A onda guiada ultrassônica, que se propaga ao longo do sensor torcional 16, detecta a presença e natureza do fluido circundante 12. Quando o sensor torcional 16 é parcialmente imerso no fluido 12, a propagação de onda é afetada por pelo menos um parâmetro do fluido 12. Por conseguinte, pelo menos um parâmetro do fluido 12 pode ser medido através da detecção da propagação de energia da onda ao longo do sensor 16. Pelo menos um parâmetro inclui densidade absoluta, perfil de densidade, nível do fluido, temperatura absoluta, perfil de temperatura, viscosidade absoluta, perfil de viscosidade, velocidade de fluxo absoluta, perfil de velocidade fluxo, fração de fase de fluido absoluta, perfil de fração de fase do fluido ou combinações dos mesmos do fluido 12. O fluido 12

pode incluir um fluido de fase única ou uma mistura de fluido de duas fases ou uma mistura de fluido múltiplas fases. Observou-se no presente documento que uma mistura de fluido de duas fases ou uma mistura de fluido de múltiplas fases inclui dois ou mais fluidos que têm densidades diferentes. Por exemplo, uma mistura de fluido de múltiplas fases pode incluir óleo, água e gás. A fonte de excitação e o receptor podem ser, piezoelettrico, piezoelettrico curvado, magnetoestritivo de arranjo de fase, transdutor acústico eletromagnético com base de laser (EMAT), Membrana e EMAT em fase. A aplicação do sensor exemplificador 16 para todos os tipos de fluido é contemplada é considerada.

[0015] Na realização ilustrada, o dispositivo transdutor 26 também é configurado para detectar a energia da onda a partir de uma porção torcional 20 do sensor 16. Um sinal de saída correspondente do dispositivo transdutor 26 é fornecido como alimento através de um osciloscópio digital 28 para um dispositivo de processador 30, por exemplo, um computador. O dispositivo de processador 30 é configurado para determinar pelo menos um parâmetro do fluido 12 em resposta ao sinal de saída do dispositivo transdutor 30. Deve ser observado no presente documento que a configuração do sistema de leitura 10 é uma realização exemplificadora e não deve ser interpretada em qualquer modo como limitadora do escopo da invenção. O sensor exemplificador 16 é aplicável a qualquer detecção que solicite aplicação de pelo menos um parâmetro atribuído ao fluido 12 em que o fluido é contido em um recipiente ou flui através de um conduto. Os exemplos típicos incluem indústria de petróleo, óleo & gás ou similares. O projeto de sensor exemplificador e a disposição dos sensores são explicados em maiores detalhes com referência às realizações subsequentes.

[0016] Com referência à Figura 2, uma vista em perspectiva de um sensor torcional exemplificador 32 é ilustrada. O sensor torcional 32 inclui uma porção de referência 34 e uma porção torcional 36. Na realização

ilustrada, a porção de referência 34 é uma porção de referência em formato cilíndrico e a porção torcional 36 é uma porção torcional em formato de X. A porção torcional 36 inclui uma pluralidade de projeções 38 as quais se estendem para fora e são separadas entre si. Especificamente, a porção torcional 36 inclui a pluralidade de projeções individuais 38 disposta simetricamente a cerca da seção central 40 da porção torcional 36.

[0017] Conforme discutido previamente, o sensor torcional 32 utiliza a alteração na velocidade da energia da onda que se propaga ao longo da porção torcional 36 devido à presença do meio de fluido circundante para detectar pelo menos um parâmetro do meio de fluido. À medida que a onda de cisalhamento se propaga através da porção torcional 36 do sensor 32, a aceleração e desaceleração de fluido que circunda a porção torcional 36 ocorrem. As forças normais são exercidas sobre a superfície da porção torcional 36, que, por sua vez, atua no fluido circundante. O movimento do fluido que circunda a porção torcional 36 é induzido pelo componente de velocidade normal de velocidade em uma interface sólida de fluido e, também, pelo arrasto viscoso do fluido circundante. Como resultado, o fluido é preso nos cantos da porção torcional 36 afetando a propagação da energia da onda. Em outras palavras, a propagação da energia da onda é atribuída à inércia do fluido circundante. Pelo menos um parâmetro do meio de fluido circundante pode ser detectado pela determinação da velocidade de propagação da energia da onda.

[0018] Com referência à Figura 3, uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora 42 é ilustrada. A porção torcional 42 é uma porção torcional em formato de X. A porção torcional 42 inclui uma pluralidade de projeções 44, 45 as quais se estendem para fora a partir de uma seção central 46 e são separadas entre si. A pluralidade de projeções 44, 45 é disposta simetricamente a cerca da seção central 46. Em

uma realização específica, a distância entre duas projeções 44 pode se situar na faixa de 3 mm a 50 mm. Em outra realização específica, a distância entre duas projeções 45 pode se situar na faixa de 3 mm a 50 mm. Em ainda outra realização específica, a distância entre uma projeção 44 e outra projeção 45 pode se situar na faixa de 1 mm a 17 mm. A distância entre os pontos de interseção opostos das projeções 44, 45 pode se situar na faixa de 1 mm a 20 mm.

[0019] Com referência à Figura 4, uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora 48 é ilustrada. A porção torcional 48 é uma porção torcional em formato de X. A porção torcional 48 inclui uma pluralidade de projeções 50, 51 as quais se estendem para fora a partir de uma seção central 52 e são separadas entre si. A pluralidade de projeções 50, 51 é disposta assimetricamente a cerca da seção central 52. A distância entre as projeções 50, 51 pode se situar na faixa de 3 mm a 50 mm. A distância entre os pontos de interseções 53, 55 pode se situar na faixa de 1 mm a 17 mm. A distância entre os pontos de interseção 53, 57 pode se situar na faixa de 0,5 mm a 8,5 mm.

[0020] Com referência à Figura 5, uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora 54 é ilustrada. A porção torcional 54 é uma porção torcional em formato de X. A porção torcional 54 inclui uma pluralidade de projeções 56 as quais se estendem para fora a partir de uma seção central 58 e são separadas entre si. A pluralidade de projeções 56 é disposta simetricamente a cerca da seção central 58.

[0021] Com referência à Figura 6, uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora 60 é ilustrada. A porção torcional 42 é uma porção torcional em formato de X. A porção torcional 60 inclui uma pluralidade de projeções 62 as quais se estendem pra fora a partir de uma seção central 64 e são separadas entre si. A pluralidade de projeções

62 é disposta simetricamente a cerca da seção central 64.

[0022] Com referência à Figura 7, uma vista em perspectiva de um sensor torcional exemplificador 66 é ilustrada. O sensor torcional 66 inclui uma porção de referência 68 e uma porção torcional 70. Na realização ilustrada, a porção de referência 68 é uma porção de referência em formato cilíndrico e a porção torcional 70 é uma porção torcional em formato de leque. A porção torcional 70 inclui uma projeção 72 que se estende para fora ou uma pluralidade de projeções 70 as quais se estendem para fora e são separadas entre si. Especificamente, a porção torcional 70 inclui a pluralidade de projeções individuais 72 disposta simetricamente a cerca de uma seção central 74 da porção torcional 70.

[0023] Com referência à Figura 8, uma vista em perspectiva de um sensor torcional exemplificador 76 é ilustrada. O sensor torcional 76 inclui uma porção de referência 78 e uma porção torcional 80. Na realização ilustrada, a porção de referência 78 é uma porção de referência em formato cilíndrico e a porção torcional 80 é uma porção torcional em formato de leque curvado. A porção torcional 80 inclui uma projeção 82 que se estende para fora ou uma pluralidade de projeções 80 as quais se estendem para fora e são separadas entre si. Especificamente, a porção torcional 80 inclui a pluralidade de projeções individuais 82 disposta simetricamente a cerca da seção central 84 da porção torcional 80.

[0024] Com referência à Figura 9, uma vista em seção transversal da porção torcional 80 é ilustrada. A porção torcional 80 inclui a pluralidade de projeções individuais 82 disposta simetricamente a cerca de uma seção central 84 da porção torcional 80. A distância de uma extremidade de uma projeção 82 até uma extremidade da projeção adjacente 80 pode se situar na faixa de 3 mm a 50 mm. A base de cada projeção 80 tem um comprimento na faixa de 1 mm a 20 mm. A distância de uma extremidade de

cada projeção 80 até uma porção de curvatura 81 da projeção adjacente 80 pode se situar na faixa de 2 mm a 33 mm.

[0025] Com referência à Figura 10, uma vista em seção transversal de uma porção torcional em formato de estrela exemplificadora 86 é ilustrada. A porção torcional 86 inclui uma pluralidade de projeções 88, 91, 93 as quais se estendem para fora a partir de uma seção central 90 e são separadas entre si. A pluralidade de projeções 88, 91, 93 é disposta simetricamente a cerca da seção central 90. Em uma realização, a distância entre as extremidades de duas projeções 88 pode se situar na faixa de 3 mm a 50 mm. Em outra realização específica, a distância entre as extremidades de duas projeções 91 pode se situar na faixa de 1 mm a 17 mm. Em ainda outra realização específica, a distância entre uma extremidade de uma projeção 91 e uma extremidade da projeção 93 pode se situar na faixa de 3 mm a 50 mm. Em ainda outra realização, a distância entre pontos de inserções 95, 97 pode se situar na faixa de 0,5 mm a 7 mm. Em outra realização específica, a distância entre os pontos de inserções 99, 101 pode se situar na faixa de 0,6 mm a 8,5 mm.

[0026] Deve ser observado no presente documento que as dimensões reveladas nas realizações discutidas acima são valores exemplificadores e não devem ser interpretados em qualquer modo como sendo limitadores do escopo da invenção.

[0027] Com referência à Figura 11, uma vista em seção transversal de uma porção torcional em formato de estrela exemplificadora 92 é ilustrada. A porção torcional 92 inclui uma pluralidade de projeções 94 as quais se estendem para fora a partir de uma seção central 96 e são separadas entre si. A pluralidade de projeções 94 é disposta simetricamente a cerca da seção central 96.

[0028] Com referência à Figura 12, uma vista em seção

transversal de uma porção torcional em formato de estrela exemplificadora 98 é ilustrada. A porção torcional 98 inclui uma pluralidade de projeções 100 as quais se estendem para fora a partir de uma seção central 102 e são separadas entre si. A pluralidade de projeções 100 é disposta simetricamente a cerca da seção central 102.

[0029] Com referência à Figura 13, uma vista em seção transversal de uma porção torcional em estrela exemplificadora 104 é ilustrada. A porção torcional 104 inclui uma pluralidade de projeções 106 as quais se estendem para fora a partir de uma seção central 108 e são separadas entre si. A pluralidade de projeções 106 é disposta simetricamente a cerca da seção central 108.

[0030] Com referência à Figura 14, uma vista em seção transversal de uma porção torcional exemplificadora 110 é ilustrada. A porção torcional 110 inclui uma pluralidade de projeções 112 as quais se estendem para fora e são separadas entre si.

[0031] Com referência à Figura 15, uma seção 114 de uma porção torcional exemplificadora é ilustrada.

[0032] Embora vários formatos da porção torcional sejam revelados no presente documento, as combinações de todos esses formatos da porção torcional também são consideradas.

[0033] Com referência à Figura 16, uma vista lateral de uma disposição de um sensor exemplificador 111 e um dispositivo transdutor 113 é ilustrada. Na realização ilustrada, o sensor 111 inclui uma porção de referência 115 e uma porção torcional 117. A porção de referência 113 inclui uma porção de topo ampliada 119 que tem uma porção lateral rebaixada 121. O dispositivo transdutor 113 é montado na porção lateral rebaixada 121 da porção de referência 113. Essa disposição é aplicável a qualquer dentre as realizações discutidas no presente documento.

[0034] Com referência à Figura 17, uma vista lateral de uma disposição de uma porção de referência 115 e um dispositivo transdutor 113 é revelada. A porção de referência 115 inclui uma porção de topo ampliada 119 e o dispositivo transdutor 113 é envolvido pela porção de topo ampliada 119.

[0035] Com referência à Figura 18, uma representação gráfica que ilustra uma variação na amplitude de sinais de saída representativos de energia da onda a partir de uma porção torcional de um sensor em relação ao tempo (em segundos) é ilustrada. Conforme discutido abaixo, o dispositivo transdutor também é configurado para detectar a energia da onda a partir da porção torcional do sensor. Um sinal de saída correspondente do dispositivo transdutor é fornecido como alimento através do osciloscópio digital para o dispositivo de processador. O dispositivo de processador é configurado para determinar pelo menos um parâmetro do fluido em resposta ao sinal de saída do dispositivo transdutor.

[0036] A velocidade da onda de propagação na porção torcional é determinada pela medição do tempo de chegada da onda em duas localizações do sensor torcional. Um sinal de referência 116 é o sinal transmitido de uma interface entre a porção de referência e a porção torcional do sensor. O sinal 118 é o sinal transmitido a partir de uma extremidade da porção torcional do sensor. Por exemplo, com referência à Figura 2, um sinal de referência é o sinal transmitido a partir de uma interface entre a porção de referência 34 e a porção torcional 36 do sensor 32. O outro sinal é o sinal transmitido a partir de uma extremidade da porção torcional 36 do sensor 32. Novamente se referindo à Figura 18, um período de tempo de um pico 120 do sinal de referência 116 até um pico 122 do sinal 118 é referido como “duração de trajetória” 124. A velocidade da onda de propagação é calculada com base na duração da trajetória 124.

[0037] Com referência à Figura 19, uma vista seccional de uma

disposição de dois sensores torcionais 126, 128 é ilustrada. Na realização ilustrada, os dois sensores 126, 128 são dispostos em localizações diferentes em um conduto 130. O sensor 126 tem uma porção de referência 132 e uma porção torcional 134. O sensor 126 é disposto próximo a um lado 136 de uma parede 138 do conduto 130. O sensor 128 tem uma porção de referência 140 e uma porção torcional 142. O sensor 128 é disposto entre o sensor 126 e o outro lado 146 da parede 138 do conduto 130. Especificamente, o sensor 128 é disposto entre um eixo geométrico central 144 e o outro lado 146 da parede 138 do conduto 130.

[0038] Na realização ilustrada, cada sensor é submetido a um modo de eco de pulso de operação em que um dispositivo transdutor é usado tanto para gerar quanto para receber a energia da onda torcional. Um eco corresponde à reflexão de energia da onda torcional da interface entre a porção de referência e a porção torcional do sensor correspondente e o outro eco corresponde à reflexão de energia da onda torcional a partir de uma extremidade do sensor correspondente. Em todas as realizações reveladas no presente documento, cada sensor também pode ser submetido através de um modo de transmissão de operação em que um dispositivo transdutor é usado para gerar energia da onda torcional e outro dispositivo transdutor é usado para receber energia da onda torcional.

[0039] Em uma realização específica, uma mistura de fluido de duas fases flui através do conduto 130. Por exemplo, a mistura de fluido de duas fases inclui óleo e água. Um sensor 126 é configurado para detectar densidade de um fluido, por exemplo, óleo. O outro sensor 128 é configurado para detectar densidade do outro fluido, por exemplo, água. Na realização ilustrada, os sensores 126, 128 são dispostos na mesma localização no conduto 130. Deve ser observado no presente documento que nas realizações discutidas no presente documento, o número de sensores e a localização dos

sensores não devem ser interpretados como limitadores. A disposição do sensor disposição também é aplicável para a detecção de outros parâmetros da mistura de fluido. A disposição do sensor também é aplicável para qualquer fluido de fase única, mistura de fluido de duas fases e mistura de fluido de múltiplas fases.

[0040] Com referência à Figura 20, uma vista seccional de uma disposição de um sensor torcional 148 é ilustrada. Na realização ilustrada, o sensor 148 é disposto em um conduto 150. Na realização ilustrada, o sensor 148 inclui uma pluralidade de entalhes 152 para dividir uma porção torcional 154 em uma pluralidade de sub-seções torcionais 156. A energia da onda de cada sub-seção torcional 156 é representativa de pelo menos um parâmetro associado ao fluido confinado em uma área correspondente no conduto 150. Por exemplo, uma sub-seção torcional pode ser um indicativo de densidade e outra sub-seção pode ser indicativo de fração de fase.

[0041] Deve ser observado no presente documento que a disposição do sensor exemplificador também é aplicável para a detecção de outros parâmetros do fluido. A disposição do sensor exemplificador também é aplicável para qualquer fluido de fase única, mistura de fluido de duas fases e mistura de fluido de múltiplas fases.

[0042] Com referência à Figura 21, uma vista seccional de uma disposição de um sensor torcional 158 é ilustrada. Na realização ilustrada, o sensor 158 é disposto de modo a se estender através de um diâmetro de um conduto 160. Em uma realização, o sensor torcional 158 é configurado para detectar a densidade de um fluido de fase única. Em outra realização, o sensor torcional 158 é configurado para detectar uma densidade média de uma mistura de fluido de duas fases. Ainda em outra realização, o sensor torcional 158 é configurado para detectar um nível de cada fase do fluido de uma mistura de fluido de múltiplas fases, quando cada fase do fluido é confinada em

uma área correspondente no conduto 160. Ainda em outra realização, o sensor torcional 160 é configurado para detectar a fração de cada fase do fluido de uma mistura de fluido de múltiplas fases, quando as fases são distribuídas no conduto 160. A disposição do sensor exemplificador também é aplicável para a detecção de outros parâmetros de um fluido/mistura de fluido. A disposição do sensor exemplificador também é aplicável para qualquer fluido de fase única, mistura de fluido de duas fases e mistura de fluido de múltiplas fases.

[0043] Com referência à Figura 22, uma vista seccional de uma disposição de dois sensores torcionais 162, 164 é ilustrada. Os sensores 162, 164 são dispostos em localizações diferentes em um conduto 166. Na realização ilustrada, os sensores 162, 164 são separados por uma distância pré-determinada ( $L$ ) no conduto 166. Em uma realização específica, uma correlação entre um tempo de resposta de saída do sensor 162 e um tempo de resposta de saída do sensor 164 pode ser indicativo de velocidade de fase de um fluido. Por exemplo, se um tempo de resposta de saída do sensor 162 for indicado por “ $t_1$ ” e um tempo de resposta de saída do sensor 164 for indicado por “ $t_2$ ”, então, a velocidade de fase do fluido será determinada pela relação:

$$\frac{t_2 - t_1}{L} \quad (1)$$

[0044] Conforme nas realizações anteriores, o número de sensores e a localização dos sensores não devem ser interpretados como limitadores. A disposição do sensor também é aplicável para a detecção de outros parâmetros de um fluido/mistura de fluido. A disposição do sensor também é aplicável para qualquer fluido de fase única, mistura de fluido de duas fases e mistura de fluido de múltiplas fases.

[0045] Com referência à Figura 23, uma vista em seção transversal de uma disposição de uma pluralidade de sensores torcionais 168 é ilustrada. Na realização ilustrada, a pluralidade de sensores torcionais 168 é

disposta separada uma da outra ao longo de uma seção transversal de um conduto 170. Em uma realização específica, os sensores 168 são configurados para determinar o perfil de densidade de um fluido de duas fases/mistura de fluido de múltiplas fases. Em outra realização, os sensores 168 são configurados para determinar a fração de fase de cada fase do fluido de um fluido de duas fases/mistura de fluido de múltiplas fases. Novamente aqui, o número de sensores não deve ser interpretado como limitador. A disposição do sensor também é aplicável para a detecção de outros parâmetros da mistura de fluido. A disposição do sensor também é aplicável para qualquer fluido de fase única, mistura de fluido de duas fases e mistura de fluido de múltiplas fases.

[0046] Com referência à Figura 24, uma vista seccional de uma disposição de um sensor torcional 172 é ilustrada. Na realização ilustrada, o sensor 172 é disposto de modo a se estender através de um conduto 174. O sensor 172 é configurado para detectar pelo menos um parâmetro de cada fase do fluido de duas fases /mistura de fluido de múltiplas fases. Em uma realização, quando uma mistura de fluido de duas fases flui através do conduto 174, uma resposta de saída do sensor 172 em um primeiro momento pode ser um indicativo de densidade de fase ou fração de fase de uma fase do fluido e outra resposta de saída do sensor em um segundo momento posterior ao primeiro momento pode ser um indicativo de densidade de fase ou fração de fase de outra fase do fluido. A disposição do sensor exemplificador também é aplicável para detectar outros parâmetros da mistura de fluido. A disposição do sensor também é aplicável para qualquer fluido de fase única, mistura de fluido de duas fases e mistura de fluido de múltiplas fases.

[0047] Com referência à Figura 25, um a vista seccional de uma disposição de dois sensores torcionais 176, 178 é ilustrada. Na realização ilustrada, os sensores 176, 178 são dispostos em uma mesma localização de

um conduto 180. O sensor torcional 176 tem um primeiro comprimento e o outro sensor torcional 178 tem um segundo comprimento diferente do primeiro comprimento. Em uma realização, quando uma mistura de fluido de duas fases flui através do conduto 180, um sensor 176 pode ser configurado para densidade de fase ou fração de fase de uma fase do fluido e o outro sensor 178 pode ser configurado para densidade de fase ou fração de fase de outra fase do fluido. A disposição do sensor exemplificador também é aplicável para a detecção de outros parâmetros da mistura de fluido. A disposição do sensor também é aplicável para qualquer fluido de fase única, mistura de fluido de duas fases e mistura de fluido de múltiplas fases.

[0048] Com referência à Figura 26, uma vista frontal de um sensor torcional exemplificador 182 é ilustrada. O sensor 182 inclui uma porção de referência 184 e uma porção torcional 186. Na realização ilustrada, a porção de referência 184 inclui dois entalhes ou sulcos 188, 189 para dividir a porção de referência 184 em uma pluralidade de sub-seções 190. A porção de referência 184 e a porção torcional 186 incluem o mesmo material. Conforme discutido anteriormente, o sensor torcional 182 utiliza a alteração na velocidade de energia da onda que se propaga ao longo da porção torcional 186 devido à presença de um meio de fluido circundante para detectar pelo menos um parâmetro do meio de fluido.

[0049] Na realização ilustrada, a porção torcional 186 e uma porção da porção de referência 184 com o entalhe 189 são imersas no meio de fluido. Conforme discutido previamente, a velocidade da onda de propagação é calculada com base na duração da trajetória da onda de propagação. Em uma realização, deve ser observado que qualquer variação na duração da trajetória da onda torcional ao longo do sensor torcional 182 é atribuída à alteração em pelo menos um parâmetro do fluido, por exemplo, temperatura. A duração da trajetória da onda de propagação é calibrada para uma temperatura particular e

a duração da trajetória é corrigida com base na calibragem para a determinação de pelo menos um parâmetro do fluido. Um entalhe 188 é uma região de referência correspondente à porção do sensor 182 exposta ao ar e o outro entalhe 190 é uma região de referência correspondente à porção do sensor 182 imersa no fluido. Em outra realização, ao invés de existirem entalhes na porção de referência 184, tanto a porção de referência 184 quanto a porção torcional 186 podem incluir material diferente. Em outras palavras, a porção de referência 184 pode incluir um primeiro material e a porção torcional 186 pode incluir um segundo material. A disposição do sensor exemplificador também é aplicável para a detecção de outros parâmetros da mistura de fluido. A disposição do sensor também é aplicável para qualquer fluido de fase única, mistura de fluido de duas fases e mistura de fluido de múltiplas fases.

[0050] Com referência à Figura 27, uma vista frontal de um sensor torcional exemplificador 192 é ilustrada. O sensor 192 inclui uma porção de referência 194 e uma porção torcional 196. Na realização ilustrada, a porção de referência 194 inclui um entalhe ou sulco 195 para dividir a porção de referência 194 em duas sub-seções 196. A porção de referência 194 e a porção torcional 196 incluem o mesmo material.

[0051] Na realização ilustrada, a porção torcional 196 e uma porção da porção de referência 196 com o entalhe 195 é imersa no meio de fluido. Deve ser observado no presente documento que qualquer variação na duração da trajetória da onda torcional ao longo do sensor torcional 192 é atribuída à alteração em pelo menos um parâmetro do fluido, por exemplo, viscosidade. Na realização ilustrada, a duração da trajetória da onda de propagação é calibrada para uma viscosidade particular e a duração da trajetória é corrigida com base na calibragem para determinar pelo menos um parâmetro do fluido. Em outra realização, ao invés de existir o entalhe 195 na porção de referência 194, tanto a porção de referência 194 quanto a porção

torcional 196 podem incluir materiais diferentes. Em outras palavras, a porção de referência 194 pode incluir um primeiro material e a porção torcional 196 pode incluir um segundo material.

[0052] Conforme discutido com referência às realizações discutidas acima, o formato do sensor fornece resistência para a onda torcional de propagação na presença do fluido que circunda a porção torcional. Essa resistência se manifesta na alteração da duração de trajetória da onda de propagação. O formato e a disposição do sensor exemplificador fornecem um arrasto à onda de propagação e aumentam a duração de trajetória resultando no melhoramento do sensor para medir um ou mais parâmetros do fluido.

[0053] Enquanto que somente algumas características da invenção são ilustradas e descritas no presente documento, muitas modificações e alterações irão ocorrer para aqueles técnicos no assunto. Deve, portanto, ser compreendido que as reivindicações em anexo são destinadas a abranger todas essas modificações e alterações conforme as mesmas se incluírem no verdadeiro espírito da invenção.

### REIVINDICAÇÕES

1. SENSOR TORCIONAL (16) PARA DETECTAR PELO MENOS UM PARÂMETRO DE UM FLUIDO (12) compreendendo:

uma porção de referência (18); e

uma porção torcional (20, 154) acoplada à porção de referência (18) e que compreende uma pluralidade de projeções (38) as quais se estendem para fora e são separadas entre si;

sendo que pelo menos uma porção do sensor torcional (16) é montável para imersão no fluido (12) e operável para propagar uma onda torcional que interage com o fluido ao longo pelo menos da porção do sensor torcional (16) de modo que afete a propagação da onda torcional em uma maneira dependente de pelo menos um parâmetro do fluido (12);

o sensor torcional (16) sendo caracterizado pela porção torcional (20, 154) incluir uma pluralidade de entalhes (152) para dividir a porção torcional (20, 154) em uma pluralidade de sub-seções torcionais (156).

2. SENSOR TORCIONAL (16), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser configurado para detectar pelo menos um parâmetro que compreende densidade absoluta, perfil de densidade, nível do fluido, temperatura absoluta, perfil de temperatura, viscosidade absoluta, perfil de viscosidade, velocidade de fluxo absoluta, perfil de velocidade fluxo, fração de fase de fluido absoluta, perfil de fração de fase do fluido ou combinações dos mesmos do fluido (12).

3. SENSOR TORCIONAL (16), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizado pela porção torcional (20, 154) compreender uma pluralidade de projeções individuais (38) as quais se estendem para fora a partir de uma seção central (40) e são separadas entre si.

4. SENSOR TORCIONAL (16), de acordo com qualquer uma

das reivindicações 1 a 3, caracterizado pela porção torcional (20, 154) compreender uma porção torcional em formato de X, uma porção torcional em formato de estrela, uma porção torcional em formato de leque, uma porção torcional em formato de leque curvado ou combinações dos mesmos.

5. SENSOR TORCIONAL (16), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pela porção torcional (20, 154) ter uma razão de aspecto de 1:2 a 1:7.

6. SISTEMA DE LEITURA (10) PARA DETECTAR PELO MENOS UM PARÂMETRO DE UM FLUIDO (12) compreendendo:

um sensor torcional (16) que compreende uma porção de referência (18); e

uma porção torcional (20, 154) acoplada à porção de referência (18) e que compreende uma pluralidade de projeções (38) as quais se estendem para fora e são separadas entre si;

sendo que pelo menos uma porção do sensor torcional (16) é montável para imersão no fluido (12) e operável para propagar a energia da onda que interage com o fluido (12) ao longo pelo menos da porção do sensor torcional (16) de modo que afete a propagação da energia da onda em uma maneira dependente pelo menos de um parâmetro do fluido (12);

caracterizado pela porção torcional (154) incluir uma pluralidade de entalhes (152) para dividir uma porção torcional (154) em uma pluralidade de sub-seções torcionais (156);

o sistema (10) ainda compreendendo:

um dispositivo de excitação (21) configurado para excitar uma energia da onda de cisalhamento no sensor torcional (16);

um dispositivo transdutor (26) configurado para fornecer uma excitação de cisalhamento para o sensor torcional (16) e detectar uma energia da onda a partir da porção torcional (20, 154); e

um dispositivo de processador (30) configurado para determinar pelo menos um parâmetro do fluido (12) em resposta a uma saída do dispositivo transdutor (26).

**7. SENSOR TORCIONAL (16) PARA DETECTAR PELO MENOS UM PARÂMETRO DE UM FLUIDO (12)** compreendendo:

uma porção de referência (18); e

uma porção torcional (20) acoplada à porção de referência (18) e que compreende uma pluralidade de projeções (38) as quais se estendem para fora e são separadas entre si;

sendo que pelo menos uma porção do sensor torcional (16) é montável para imersão no fluido (12) e operável para propagar uma onda torcional que interage com o fluido (12) ao longo pelo menos da porção do sensor torcional (16) de modo que afete a propagação da onda torcional em uma maneira dependente pelo menos de um parâmetro do fluido (12);

o sensor torcional (16) sendo caracterizado por uma variação na duração de trajetória (124) da onda torcional ser atribuída à alteração em pelo menos um parâmetro do fluido (12),

a porção de referência (18) compreender pelo menos um entalhe (152).

**8. SENSOR TORCIONAL (16) PARA DETECTAR PELO MENOS UM PARÂMETRO DE UM FLUIDO (12)** compreendendo:

uma porção de referência (18) que compreende um primeiro material; e

uma porção torcional (20, 154) acoplada à porção de referência (18) e que compreende uma pluralidade de projeções (38) as quais se estendem para fora e são separadas entre si; sendo que a porção torcional (20, 154) compreende um segundo material diferente do primeiro material;

sendo que pelo menos uma porção do sensor torcional (16) é

montável para imersão no fluido (12) e operável para propagar uma onda torcional que interage com o fluido (12) ao longo pelo menos da porção do sensor torcional (16) de modo que afete a propagação da onda torcional em maneira dependente de pelo menos um parâmetro do fluido (12);

o sensor torcional (16) sendo caracterizado por uma variação na duração de trajetória (124) da onda torcional ao longo do sensor torcional (16) ser atribuída à alteração em pelo menos um parâmetro do fluido (12),

a porção torcional (20, 154) incluindo uma pluralidade de entalhes (152) para dividir uma porção torcional (20, 154) em uma pluralidade de subseções torcionais (156).

9. SENSOR TORCIONAL (148) PARA DETECTAR PELO MENOS UM PARÂMETRO DE UM FLUIDO (12) compreendendo:

uma porção de referência (18); e

uma porção torcional (154) acoplada à porção de referência e que compreende uma pluralidade de projeções as quais se estendem para fora e são separadas entre si; sendo que a porção de referência e a porção torcional (154) compreendem o mesmo material;

sendo que pelo menos uma porção do sensor torcional (148) é montável para imersão no fluido (12) e operável para propagar uma onda torcional que interage com o fluido (12) ao longo pelo menos da porção do sensor torcional (148) de modo a afetar a propagação da onda torcional em uma maneira dependente de pelo menos um parâmetro do fluido (12);

o sensor torcional (16) sendo caracterizado por uma variação na duração da trajetória (148) da onda torcional ao longo do sensor torcional (148) é atribuída à alteração em pelo menos um parâmetro do fluido (12),

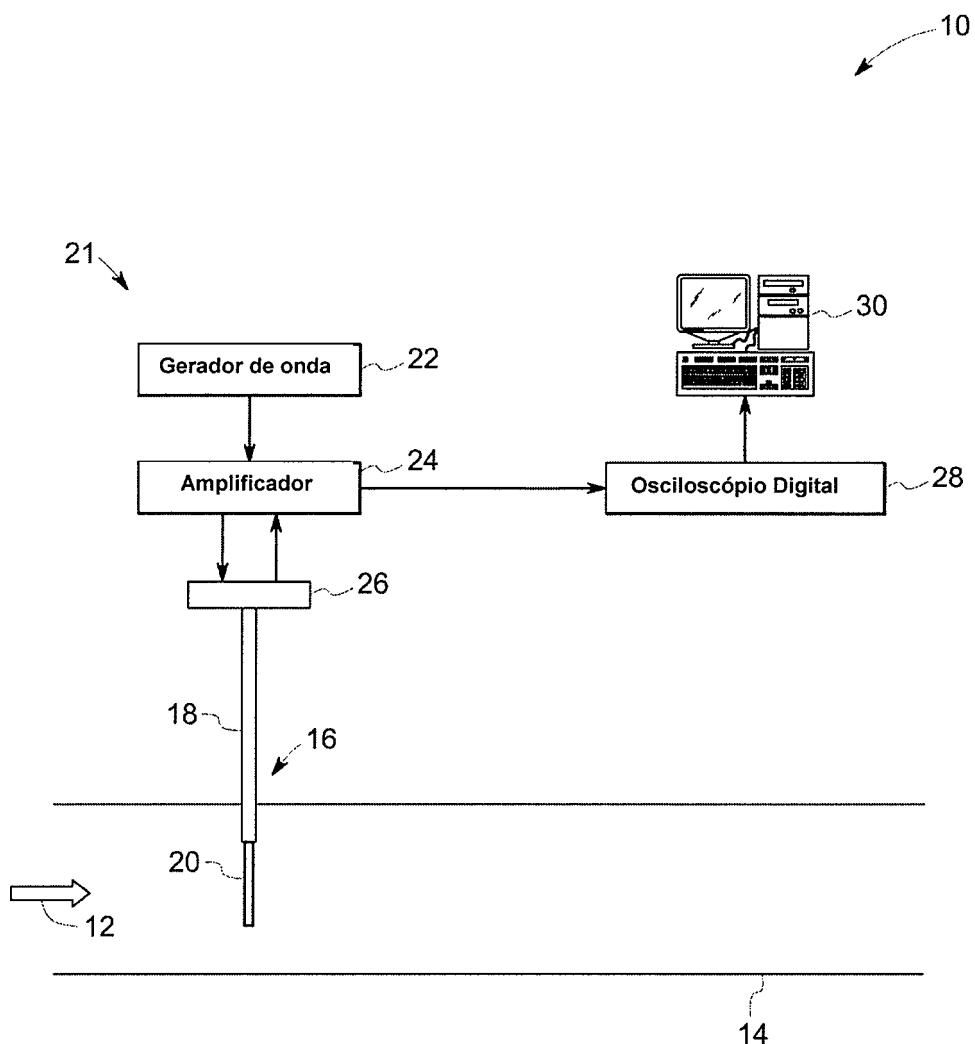
a porção de referência (18) compreendendo pelo menos um entalhe (152) que divide as porções de referência (18) em duas ou mais subseções (156).

10. MÉTODO PARA DETECTAR PELO MENOS UM PARÂMETRO DE UM FLUIDO (12) caracterizado por compreender:

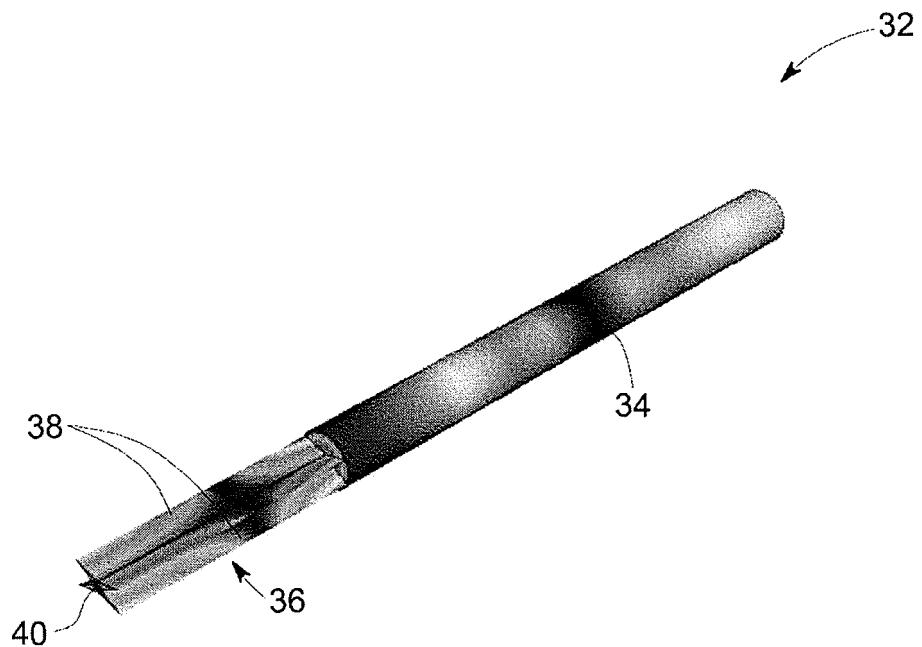
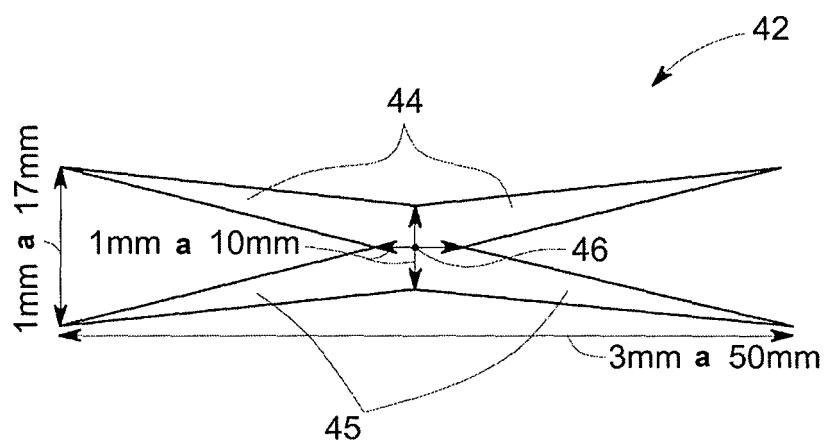
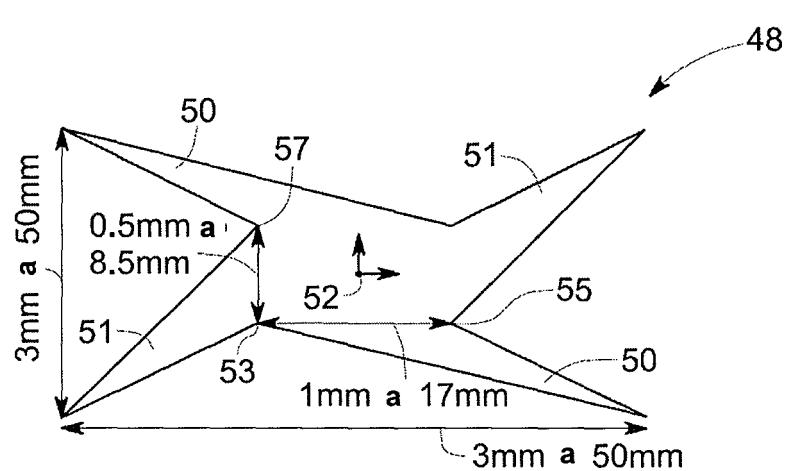
excitar uma energia da onda em um sensor torcional (16) parcialmente imerso no fluido (12) através de um dispositivo de excitação (21) de modo a propagar a energia da onda que interage com o fluido (12) ao longo pelo menos de uma porção do sensor torcional (16) tal que afete a propagação da energia da onda em uma maneira dependente de pelo menos um parâmetro do fluido (12), sendo que o sensor torcional (16) compreende uma porção de referência (18); e uma porção torcional (20, 154) acoplada à porção de referência (18) e compreende uma pluralidade de projeções (38) as quais se estendem para fora e são separadas entre si; sendo que a porção torcional (20, 154) inclui uma pluralidade de entalhes (152) para dividir uma porção torcional (20, 154) em uma pluralidade de sub-seções torcionais (156);

fornecer excitação torcional para o sensor torcional (16) e detectar energia da onda da porção torcional (20, 154) através de um dispositivo transdutor (26); e

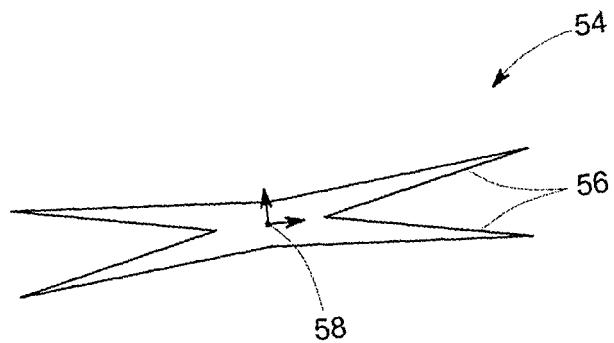
determinar pelo menos um parâmetro do fluido (12) em resposta a uma saída do dispositivo transdutor (26).



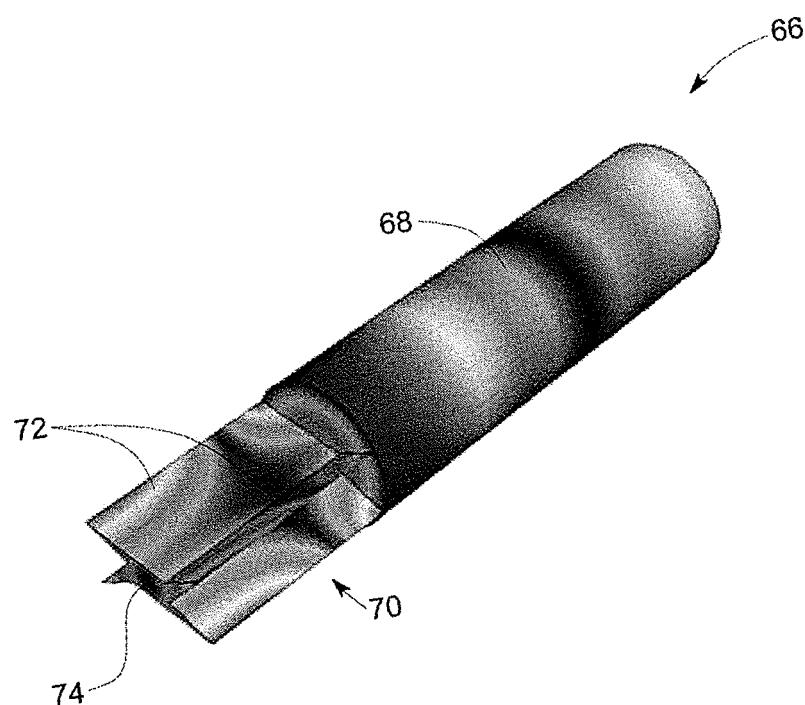
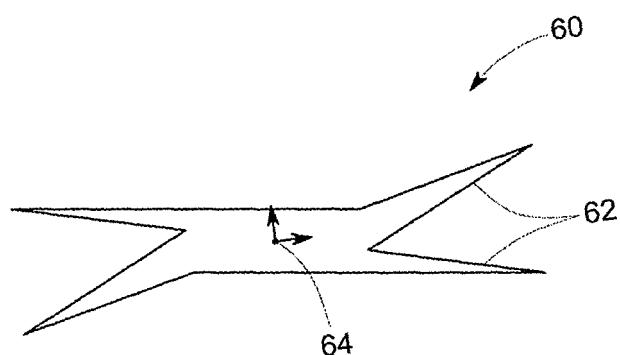
**Fig. 1**

**Fig. 2****Fig. 3****Fig. 4**

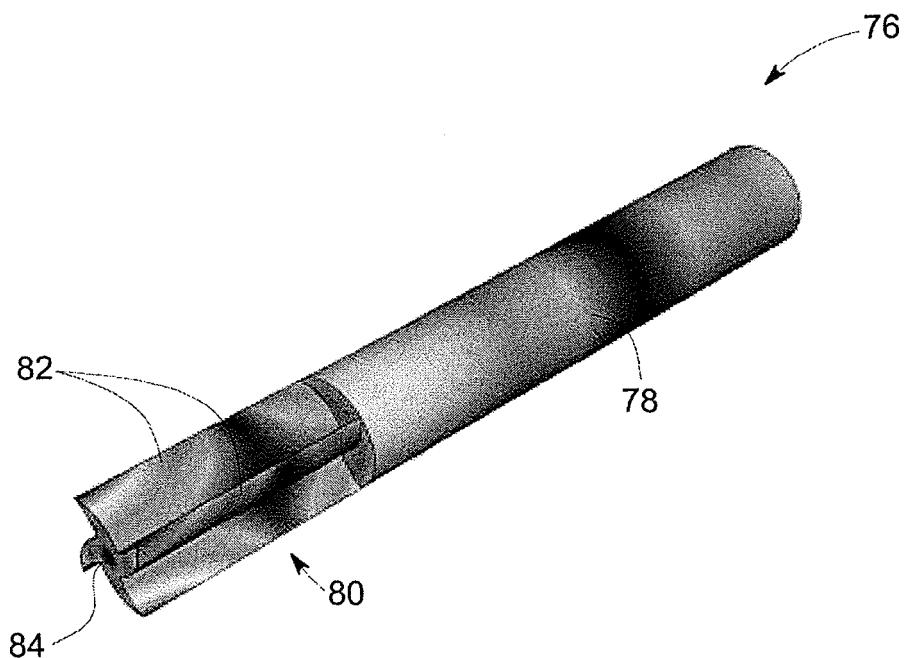
**Fig. 5**



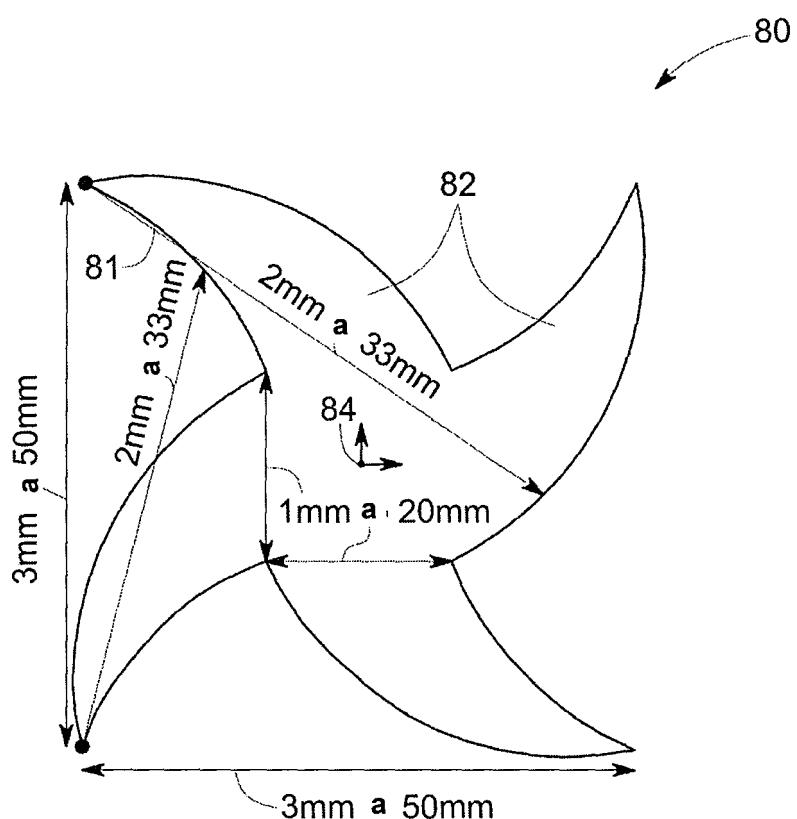
**Fig. 6**



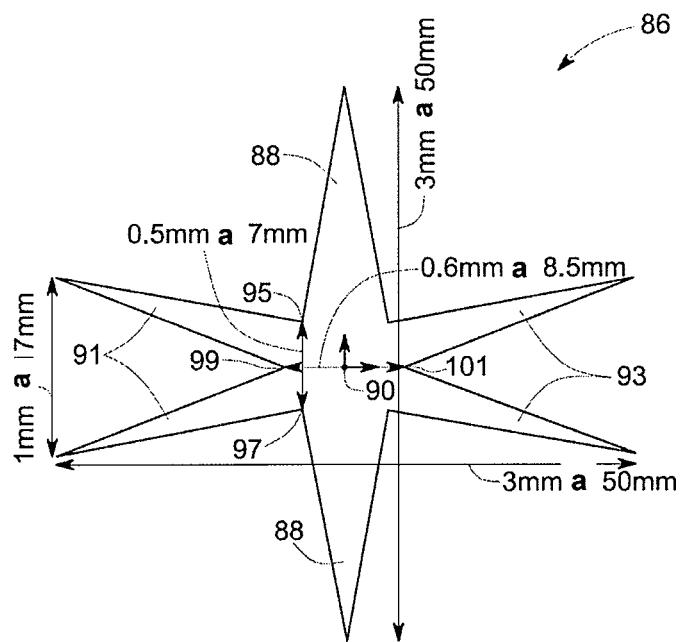
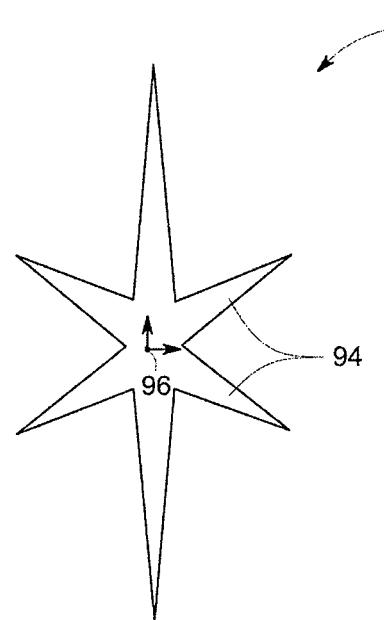
**Fig. 7**

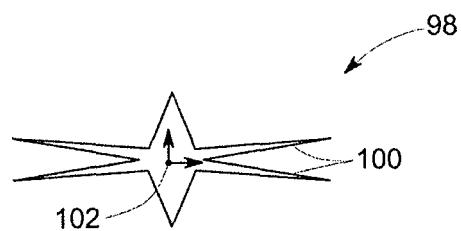
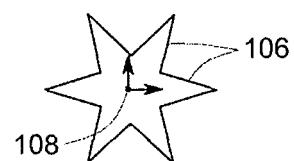
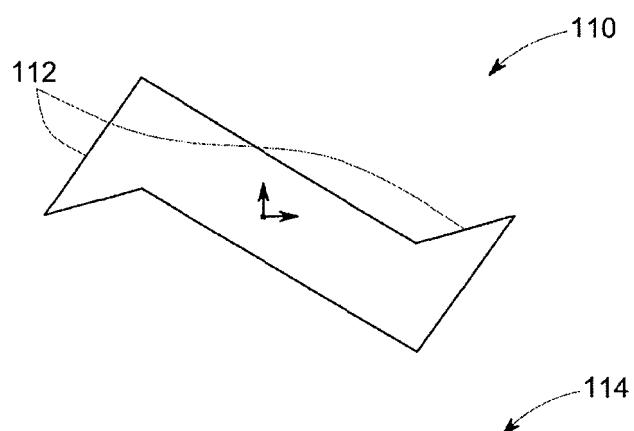
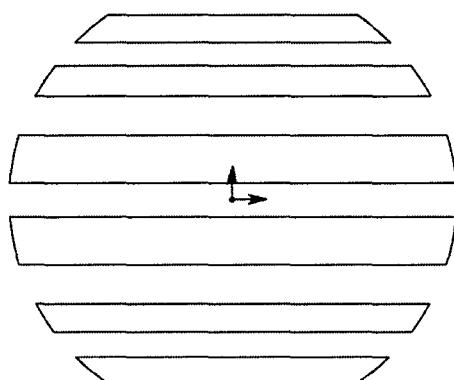


*Fig. 8*



*Fig. 9*

**Fig. 10****Fig.11**

**Fig. 12****Fig. 13****Fig. 14****Fig. 15**

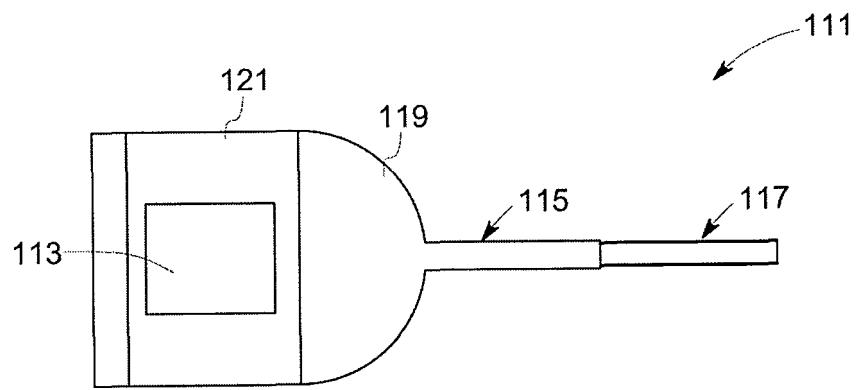
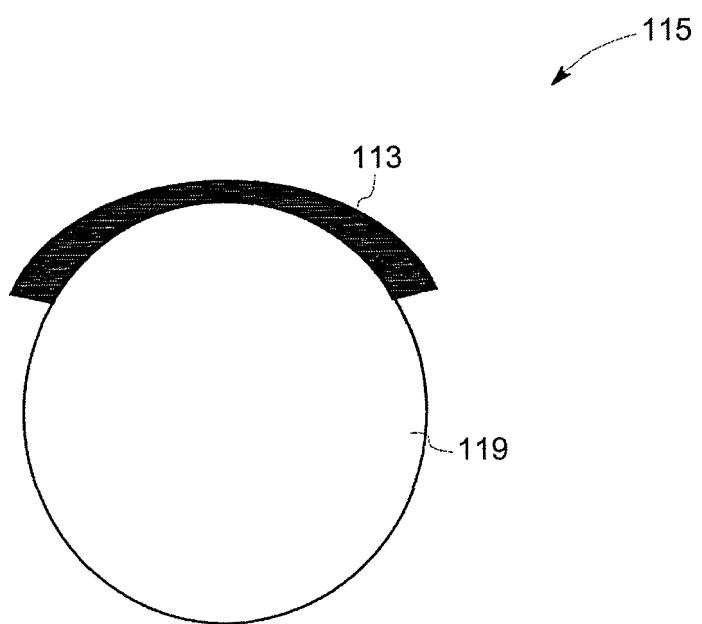
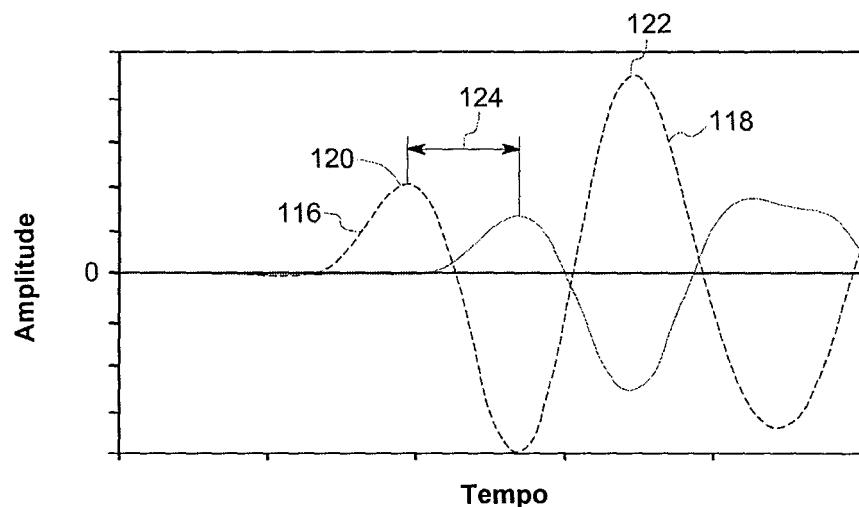
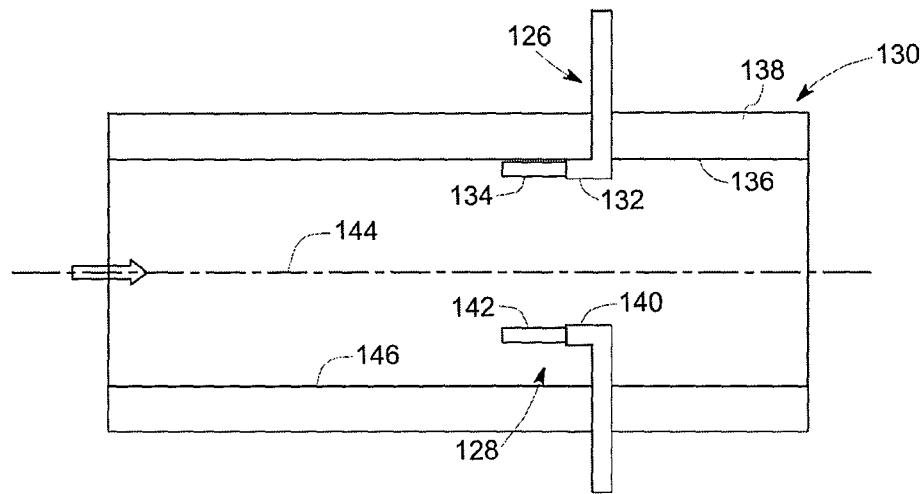


FIG. 16

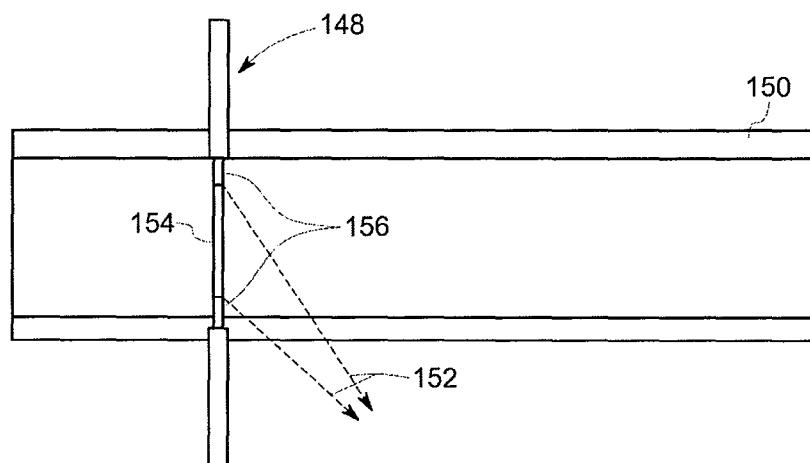




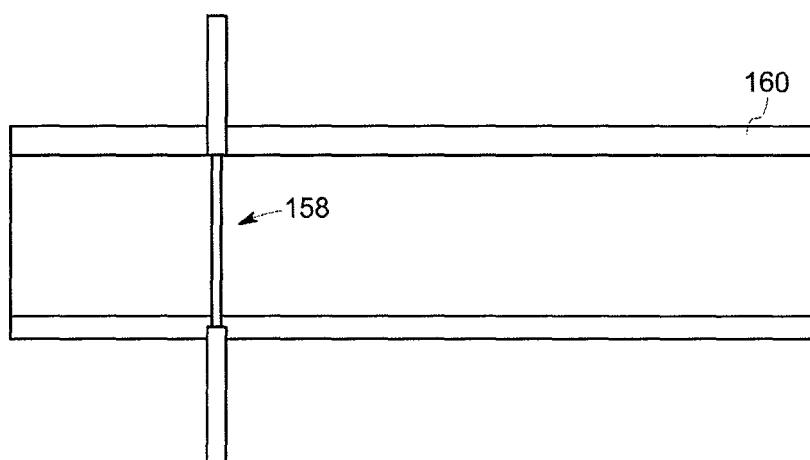
**Fig. 18**



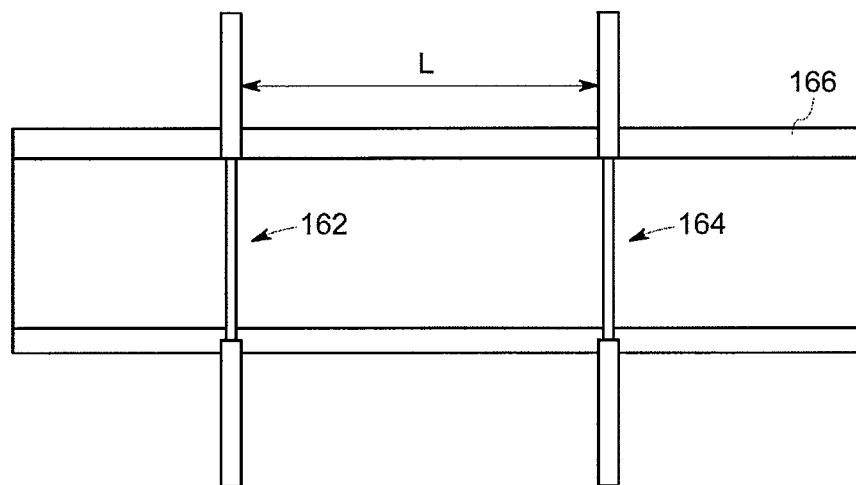
**Fig. 19**



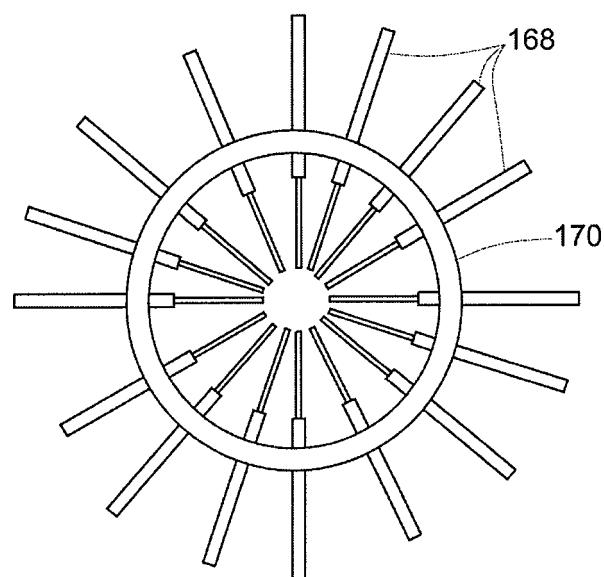
*Fig. 20*



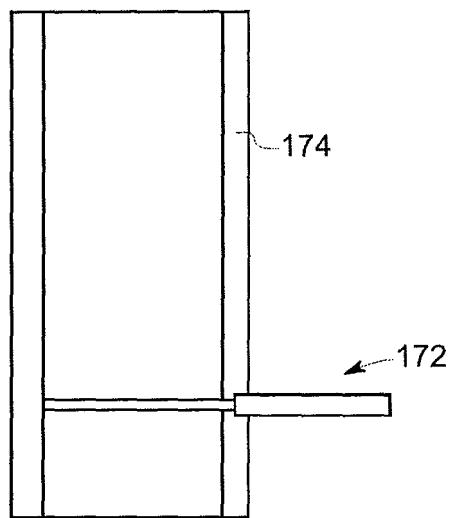
*Fig. 21*



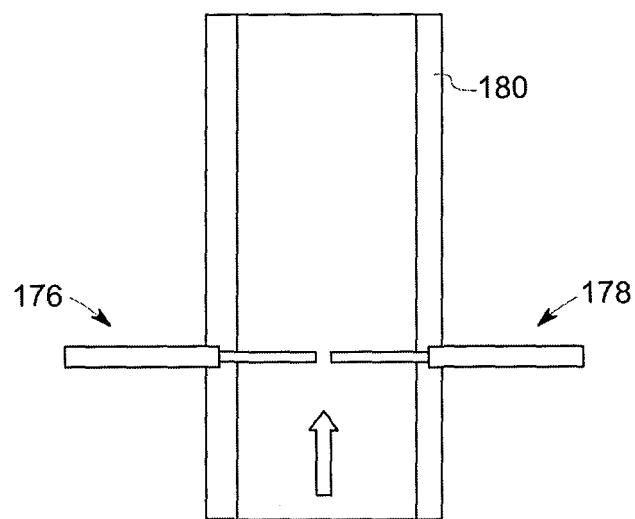
*Fig. 22*



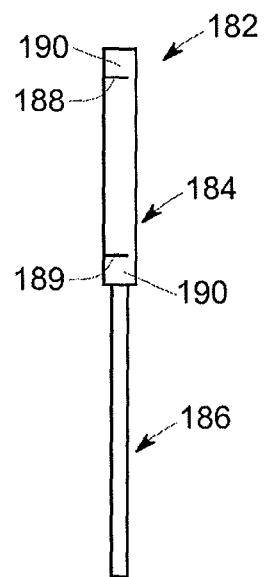
*Fig. 23*



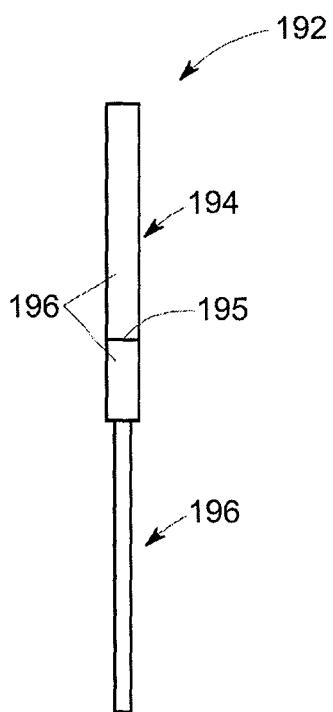
*Fig. 24*



*Fig. 25*



***Fig. 26***



***Fig. 27***