



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

(21) **PI0611032-0 A2**



* B R P I 0 6 1 1 0 3 2 A 2 *

(22) Data de Depósito: 30/05/2006
(43) Data da Publicação: 10/08/2010
(RPI 2066)

(51) *Int.Cl.:*
G01M 3/28
G01M 3/24

(54) Título: **OBTENÇÃO DE INFORMAÇÃO SOBRE VAZAMENTOS EM TUBULAÇÕES**

(30) Prioridade Unionista: 27/05/2005 GB 0510766.9

(73) Titular(es): BRINKER TECHNOLOGY LIMITED

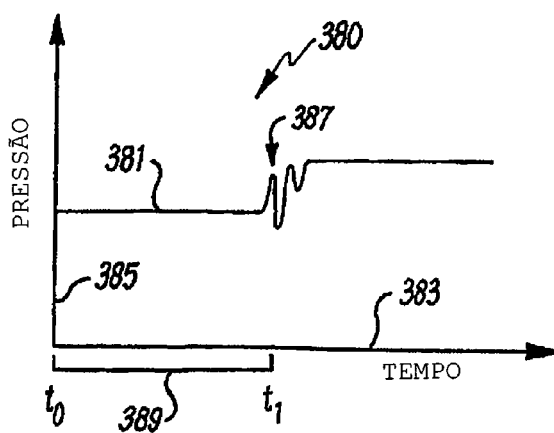
(72) Inventor(es): IAN MCEWAN, NICHOLAS RYAN

(74) Procurador(es): Nellie Anne Daniel Shores

(86) Pedido Internacional: PCT GB2006001979 de 30/05/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2006/126016 de 30/11/2006

(57) Resumo: Um método e sistema para obter informação de vazamento de fluido são descritos. Uma pluralidade de elementos de vedação é introduzida na tubulação em uma localização ascendente do vazamento, e pelo menos alguns dos elementos de vedação são direcionados ao vazamento para causar um evento de vedação que reduz infiltração de fluido. Uma mudança de pressão causada pelo evento de vedação é detectada, e dados de tempo associados são usados para obter informação sobre o vazamento. Em uma modalidade, a informação de localização de vazamento é obtida. Em uma modalidade alternativa, informação transiente de pressão é usada para obter informação de tamanho de vazamento.



"OBTENÇÃO DE INFORMAÇÃO SOBRE VAZAMENTOS EM TUBULAÇÕES"

Campo da Invenção

A presente invenção refere-se a um método e um sistema para obter informação sobre vazamentos em tubulações. Em particular, a invenção refere-se a um método e um sistema para determinar a localização de um vazamento em uma tubulação. Em um outro aspecto, a invenção refere-se a um método para determinar o tamanho de um vazamento. A invenção fornece um método adequado para remotamente localizar um vazamento em uma tubulação de orifício estreito carregando fluido, linha de fluxo ou outro sistema de fluido pressurizado adequado. O método pode também ser aplicado a dutos de pressão de orifício pequeno de uma seção transversal não circular.

Fundamentos da Invenção

As tubulações facilitam o transporte em regiões, terrenos ou localizações, ou através deles, onde transporte manual é ineficiente ou simplesmente impossível. Em tais circunstâncias, tubulações ou redes de tubulações são tipicamente construídas debaixo da superfície da terra, ou, por exemplo, no fundo do mar ou debaixo dele, onde elas frequentemente se estendem por vários quilômetros. A instalação de redes de tubulações é um processo que consome tempo e dinheiro e, como um resultado, elas são projetadas para operar como instalações permanentes. As tubulações subaquáticas de indústrias de óleo são frequentemente usadas para transportar fluidos hidrocarbonetos a partir de uma plataforma de

produção a um terminal de refinaria terrestre.

Sistemas de tubulação, particularmente aqueles instalados em ambientes difíceis, se tornam suscetíveis a danos pelo tempo e exigem manutenção. Freqüentemente, os vazamentos ocorrerão resultando em perda dos fluidos transportados na tubulação, causando danos ao ambiente e perda de lucros potenciais aos operadores. A manutenção e a instalação apropriada são eventos significantes.

Em tubulações marítimas, há custos significantes associados com a reparação de um vazamento. Os custos podem ser reduzidos determinando-se onde a seção danificada da tubulação está localizada antes de conduzir reparos. Isso minimiza qualquer escavação ou outra preparação que pode ser exigida próxima à tubulação antes de executar reparos. Informação de localização de vazamento é também importante para entender modos de falha em estágios pós-preparação auxiliando a impedir falhas na tubulação de operação futura.

Técnicas existentes empregadas para determinar a localização de vazamentos e para reparar vazamentos em tubulações têm limitações. Métodos tradicionais freqüentemente usam dispositivos que são desenvolvidos na tubulação e ativamente varrem a tubulação por vazamentos. Em alguns casos, esses podem exigir desligar partes de uma rede de tubulação para fornecer acesso.

Mais recentemente, métodos passivos foram desenvolvidos, tal como desenvolvendo uma cápsula com um sensor no fluido já fluindo na tubulação. EP 1.137.921 descreve tal sistema, onde a cápsula é introduzida no fluxo e percebe di-

ferenciais de pressão, à medida que ela viaja com o fluxo. Dados de pressão anômalos obtidos próximo ao vazamento fornecem informação útil considerando a localização do vazamento. Dados são transferidos a um computador, por exemplo, remotamente transmitidos usando dispositivos de comunicação sem fio ou localmente conectando-se um computador a uma cápsula depois de restaurar a cápsula. Em documentos WO 01/86191 e WO 03/093713, é descrito o uso de cápsulas similares que monitoraram elementos de vedação. Essas cápsulas localizam o vazamento e então liberam elementos no fluido próximo ao vazamento para vedá-lo.

Técnicas usando cápsulas móveis podem ser problemáticas em certos tipos de tubulações. Em particular, tubulações marítimas que se estendem por longas distâncias em água profunda tornam difícil comunicar com sucesso e transmitir dados a partir da cápsula a um computador na superfície. Em tubulações de orifício estreito, as dimensões da cápsula podem ser tão pequenas a habilitar à cápsula ser facilmente devolvida à superfície para transferência manual de dados a um computador. Além disso, a exigência de soluções de engenharia complexas usando materiais avançados para a aplicação de sistemas de cápsula em tubulações com dimensões extremas pode ser, de forma proibitiva, muito dispendiosas.

Os documentos WO 01/86191 e WO 03/093713 fornecem soluções à vedação de vazamentos em tais linhas carregando fluido para vedação sem a necessidade de engenhar cápsulas para primeiro localizar o vazamento. Nesses métodos, elementos de vedação que são introduzidos na tubulação carregando

fluido, se tornam suspensos no fluido em virtude de sua densidade e seu tamanho, e viajam até o vazamento seguindo o fluxo natural do fluido e os gradientes de pressão que ocorrem no fluido da tubulação como um resultado do vazamento.

5 Elementos de vedação são formados de acordo com as dimensões da tubulação e a natureza do fluido fluindo na tubulação.

Essas soluções de vedação foram usadas com sucesso em tubulações umbilicais, que tipicamente se estendem por várias dezenas de quilômetros em ambientes marítimos, por exemplo, fornecendo fluido para ou a partir de instalações aquáticas. Entretanto, somente as técnicas tradicionais, tais como usar cápsulas com sensores, estão disponíveis para localizar os vazamentos nas tubulações. Métodos alternativos para localizar vazamentos em tais linhas umbilicais não foram sugeridos devido a suas dimensões e inacessibilidade tornando-as inadequadas para usar técnicas de detecção existentes.

Sumário da Invenção

É um objetivo de um aspecto da presente invenção suavizar ou pelo menos precaver deficiências e desvantagens de métodos anteriores para localizar vazamentos em linhas e tubulações carregando fluido.

É um outro objetivo de um aspecto da presente invenção fornecer um método e sistema para detecção remota da localização de um vazamento em uma tubulação de sustentação de fluido.

Um objetivo adicional de um aspecto da invenção é fornecer um método para determinar o tamanho de um vazamento

em uma tubulação.

Outros objetivos da invenção se tornarão aparentes a partir da leitura da seguinte descrição.

De acordo com um primeiro aspecto da invenção, é
5 fornecido um método para determinar a localização de um vazamento de fluido em uma tubulação, o método compreende as etapas de:

- Introduzir uma pluralidade de elementos de vedação na tubulação em uma primeira localização ascendente do
10 vazamento, pelo menos alguns dos elementos de vedação sendo direcionados ao vazamento para causar um evento de vedação que reduz infiltração de fluido a partir do vazamento;

- Detectar uma mudança de pressão devido ao evento de vedação;

15 - Usar dados de tempo associados com a mudança de pressão para obter informação de localização de vazamento.

Preferencialmente, o método adicionalmente compreende a etapa adicional de medir o tempo entre a introdução dos elementos de vedação na tubulação e a mudança de pressão. Mais preferencialmente, o método adicionalmente compreende a etapa adicional de usar taxa de fluxo de fluido na
20 tubulação para calcular uma distância entre a primeira localização e a localização do vazamento.

Opcionalmente, a mudança de pressão é detectada
25 usando um único transdutor de pressão localizado na tubulação. Opcionalmente, a mudança de pressão é detectada usando uma pluralidade de transdutores de pressão localizados na tubulação.

Preferencialmente, o método adicionalmente compreende a etapa de medir taxa de fluxo do fluido na tubulação. Mais preferencialmente, o método adicionalmente compreende a etapa de calcular a localização de vazamento usando o tempo de introdução dos elementos de vedação, o tempo da mudança de pressão, e a taxa de fluxo do fluido.

Opcionalmente, a mudança de pressão é uma mudança de pressão de estado de equilíbrio do fluido na tubulação. Opcionalmente, a mudança de pressão é uma mudança de pressão transiente do fluido na tubulação.

Em uma tubulação, a mudança de pressão detectada é uma combinação de uma mudança de pressão de estado de equilíbrio do fluido na tubulação e uma mudança de pressão transiente do fluido na tubulação.

Preferencialmente, o método adicionalmente compreende as etapas de:

- Detectar um primeiro sinal devido a um transiente de pressão causado pelo evento de vedação;
- Detectar um segundo sinal devido a um transiente de pressão causado pelo evento de vedação;
- Obter informação de localização de vazamento usando dados de tempo associados com o primeiro e o segundo sinal.

Preferencialmente, o primeiro sinal é detectado por um primeiro transdutor de pressão em uma localização ascendente do vazamento, e o segundo sinal é detectado por um segundo transdutor de pressão em localização descendente do vazamento.

Preferencialmente, informação de localização de vazamento é obtida de uma velocidade de transiente de pressão característica no fluido, o tempo de detecção de transientes de pressão no primeiro e no segundo transdutor, e a
5 localização do primeiro e do segundo transdutor.

Preferencialmente, o primeiro sinal é um transiente de pressão primário detectado por um transdutor de pressão, e o segundo sinal é um transiente de pressão refletido detectado pelo transdutor de pressão.

10 Preferencialmente, o método compreende a etapa adicional de medir uma velocidade de transiente de pressão característica no fluido gerando-se um transiente de pressão em uma localização e tempo conhecidos, e detectar um sinal resultante em um transdutor de pressão.

15 Preferencialmente, o método compreende as etapas adicionais de medir a amplitude de um transiente de pressão causado pelo evento de vedação, e obter informação de tamanho de vazamento a partir da amplitude medida.

De acordo com um segundo aspecto da presente invenção, é fornecido um sistema para obter a localização de um vazamento de fluido em uma tubulação, o sistema compreendendo as etapas de:

25 - Uma entrada para permitir uma pluralidade de elementos de vedação a ser introduzida em uma tubulação em uma primeira localização ascendente do vazamento, pelo menos alguns dos elementos de vedação sendo direcionados ao vazamento para causar um evento de vedação que reduz infiltração de fluido a partir do vazamento;

- Dispositivos para detectar uma mudança de pressão devido ao evento de vedação;

- Dispositivo para obter informação de localização de vazamento a partir de dados de tempo associados com a mudança de pressão.

Preferencialmente, o dispositivo para detectar uma mudança de pressão é um único transdutor de pressão localizado na tubulação. Preferencialmente, o único transdutor de pressão está localizado ascendente ao vazamento.

10 Mais preferencialmente, o dispositivo para detectar uma mudança de pressão compreende um primeiro transdutor de pressão localizado ascendente ao vazamento e um segundo transdutor de pressão localizado descendente ao vazamento.

15 Preferencialmente, o sistema adicionalmente compreende dispositivo para medir a taxa de fluxo de fluido na tubulação. Preferencialmente, o sistema adicionalmente compreende dispositivo para gerar um transiente de pressão na tubulação em um tempo e localização conhecidos.

20 De acordo com um terceiro aspecto da presente invenção, é fornecido um método para determinar o tamanho de um vazamento de fluido em uma tubulação, o método compreendendo as etapas de:

- Introduzir uma pluralidade de elementos de vedação na tubulação em uma primeira localização ascendente do vazamento, pelo menos alguns dos elementos de vedação sendo 25 direcionados ao vazamento para causar um evento de vedação que reduz infiltração de fluido a partir do vazamento;

- Detectar um sinal de transiente de pressão cau-

sado pelo evento de vedação;

- Medir uma amplitude do sinal de transiente de pressão;

- Obter informação de tamanho de vazamento a partir da amplitude do sinal de transiente de pressão.

Preferencialmente, o método compreende a etapa adicional de determinar a localização de vazamento de acordo com o método do primeiro aspecto da invenção.

De acordo com um quarto aspecto da invenção, é fornecido um sistema para determinar o tamanho de um vazamento de fluido em uma tubulação, o sistema compreende:

- Uma entrada para permitir uma pluralidade de elementos de vedação a ser introduzida em uma tubulação em uma primeira localização ascendente ao vazamento, pelo menos alguns dos elementos de vedação sendo direcionados ao vazamento para causar um evento de vedação que reduz infiltração de fluido a partir do vazamento;

- Dispositivo para detectar um sinal de transiente de pressão devido ao evento de vedação;

- Dispositivo para medir a amplitude do sinal de transiente de pressão, e;

- Dispositivo para obter informação de tamanho de vazamento a partir da amplitude do sinal de transiente de pressão.

Opcionalmente, a tubulação do primeiro, segundo, terceiro ou quarto aspecto da invenção é uma parte de uma instalação usada na produção de hidrocarbonetos. A tubulação pode ser uma tubulação marítima. A tubulação pode ser uma

tubulação de orifício estreito, tal como um umbilical.

Breve Descrição dos Desenhos

Serão descritas, a título de exemplo somente, modalidades da invenção com relação aos seguintes desenhos,
5 dos quais:

A FIG. 1A é uma vista em corte de uma tubulação contendo um vazamento e entrada de elemento de vedação de acordo com uma modalidade da invenção;

10 A FIG. 1B é uma vista em corte de uma tubulação tendo um vazamento vedado de acordo com a modalidade da FIG. 1A;

A FIG. 1C é um gráfico de respostas de pressão de estado de equilíbrio com o tempo de acordo com a modalidade da FIG. 1A;

15 A FIG. 2A é uma vista em corte de uma tubulação com um vazamento vedado e transientes de pressão resultantes, de acordo com uma modalidade da invenção;

20 A FIG. 2B é um gráfico de respostas de pressão com o tempo que detalha chegadas de transiente de pressão de acordo com a modalidade da FIG. 2A;

A FIG. 3 é um gráfico de respostas de pressão que combina transiente de pressão e mudanças de estado de equilíbrio de acordo com uma modalidade da invenção;

25 A FIG. 4A é uma vista em corte de uma tubulação com transientes de pressão devido a um vazamento, de acordo com uma modalidade da invenção;

A FIG. 4B é um gráfico da resposta de pressão com o tempo que detalha chegadas de transiente de pressão, de

acordo com a modalidade da FIG. 4A;

A FIG. 5A é uma representação esquemática de plataforma de teste de pequena escala, de acordo com a presente invenção;

5 A FIG. 5B é uma representação esquemática de uma plataforma de teste de grande escala, de acordo com a presente invenção;

A FIG. 6 é um gráfico de respostas de transiente de pressão de acordo com a modalidade da invenção da FIG.
10 5A;

A FIG. 7A é um gráfico de respostas de pressão de acordo com a modalidade da invenção descrita na FIG. 5B;

A FIG. 7B é um gráfico de respostas de transiente de pressão processadas de acordo com a modalidade da FIG.
15 5B;

A FIG. 8A é uma representação esquemática de tubulação gerando transientes de pressão refletidos de acordo com uma modalidade da invenção;

A FIG. 8B é um gráfico de respostas de pressão incluindo respostas de transiente de pressão refletidos de acordo com a modalidade da FIG. 8A.
20

A FIG. 9 é um gráfico de respostas de pressão de acordo com uma modalidade da invenção;

A FIG. 10 é uma representação gráfica de respostas de transiente de pressão de acordo com uma modalidade da invenção;
25

A FIG. 11 é um gráfico relacionando tamanho de transiente à área de vazamento de acordo com modalidades da

presente invenção;

A FIG. 12 é uma representação esquemática de uma configuração prática de localização de vazamento na tubulação de acordo com uma modalidade da invenção.

5 Descrição Detalhada da Invenção

Referindo-se primeiramente às FIGs. 1A, 1B e 1C, é mostrada esquematicamente uma primeira modalidade da presente invenção, na qual a liberação cronometrada de elementos de vedação e a vedação de um vazamento são usadas para determinar a localização de um vazamento em uma tubulação. Com referênci

10 em 300 uma tubulação 303 com um vazamento 309 e entrada de elemento de vedação 301. A entrada 301 na tubulação 303 carregando fluido 305 é fornecida para permitir aos elementos

15 de vedação 307 serem introduzidos e suspensos no fluxo de fluido 305 através da tubulação 303. A tubulação 303 contém um vazamento 309, que expõe o fluido 305 fluindo através da tubulação 303 à pressão do ambiente 311 externo à tubulação 303. Em geral, a pressão do ambiente 311 e a pressão do

20 fluido na tubulação são diferentes aumentando um gradiente de pressão no fluido da tubulação 305, que aumenta em direção à localidade do vazamento. Os elementos de vedação são carregados descendente com o fluxo ao longo do gradiente de pressão à localização do vazamento. O vazamento 309 está lo-

25 calizado em uma distância arbitrária 311 da entrada do elemento de vedação 301. A pressão do fluido de tubulação 305 é medida usando transdutores de pressão 315 montados na tubulação 303.

A FIG. 1B mostra a tubulação 303 depois dos elementos de vedação 307 terem viajado com o fluxo descendente e uma vedação resistente à pressão 317 é criada na localização do vazamento 309 da FIG. 1A. Nesse estágio, os elementos
5 de vedação 307 que não são usados para vedar o vazamento passam fluxo abaixo da tubulação 303.

Nessa modalidade da invenção, o tempo, t_0 , no qual os elementos de vedação 307 são liberados na tubulação é registrado enquanto a pressão é monitorada nos transdutores
10 315. A FIG. 1C é um gráfico linear representando a pressão medida em um dos transdutores 315 em diferentes estágios no processo de vedação como descrito na modalidade das FIGs. 1A e 1B. O gráfico 320 tem o eixo das abscissas 321 como o tempo e o eixo das ordenadas 323 como a pressão. O traço 325
15 representa a variação de pressão com o tempo a partir do tempo no qual os elementos de vedação 307 são introduzidos ao fluido 305 até que antes do vazamento 309 ter sido vedado em 317. Na vedação, o equipamento descendente reage ao fluxo aumentado por um aumento na pressão de volta, e essa mudança
20 de pressão é refletida por toda a tubulação. O tempo no qual o aumento de pressão 327 ocorre corresponde ao tempo no qual os elementos de vedação 307 vedam o vazamento 309 e é denotado por t_1 . O tempo obtido para os elementos de vedação viajarem a partir da entrada 301 à localização do vazamento na
25 qual ela é vedada é $t_1 - t_0$ pode ser relacionado à dimensão 329.

De modo a calcular a distância do vazamento 309 a partir da entrada 301, o conhecimento da taxa de fluxo na

tubulação 303 é exigido para estimar o tempo de passagem dos elementos de vedação. A velocidade média de fluxo fornece uma representação para a velocidade dos elementos de vedação 307 viajando com o fluxo a partir da entrada 301 ao vazamento 309. Uma estimativa da velocidade média de fluxo (v) pode ser obtida da taxa de fluxo (Q) e do diâmetro de tubulação (D) usando a seguinte equação:

$$Q = v \times \pi D^2 / 4$$

O tempo 329 no qual a pressão aumenta no gráfico 320 em 327 é obtido para corresponder ao tempo obtido para os elementos de vedação 307 viajarem a partir da entrada 301 até o vazamento 309. Uma estimativa da distância 313 para o vazamento é obtida multiplicando-se a velocidade média de fluxo pelo tempo $t_1 - t_0$ 329 exigida para os elementos de vedação 307 chegarem na localização do vazamento. Em certas circunstâncias, uma estimativa mais refinada da distância 313 pode ser obtida introduzindo-se um fator para executar qualquer diferença entre a velocidade média de fluxo e a velocidade dos elementos de vedação. Nessa modalidade, a taxa de fluxo é estimada a partir dos dados históricos ou parâmetros operacionais da tubulação, ou sistemas de medição em linha existentes. Entretanto, em um arranjo alternativo, o sistema pode ser fornecido com um dispositivo de medição de taxa de fluxo localizado na tubulação.

Em testes práticos usando o método acima, repetir as medições usando um transdutor 315 sugere que, a determinação da posição do vazamento é possível para 10% da distância real 313 entre a entrada 301 e o vazamento 309. O uso de

um número de transdutores 315 para registrar mudanças de pressão pode auxiliar a reduzir incerteza estatística associada com as medições, por exemplo, usando técnicas de cálculo de média sobre um arranjo de transdutores.

5 A modalidade descrita acima detalha a determinação da posição de um vazamento a partir da vedação do vazamento usando elementos de vedação que são passivamente preparados no vazamento pelo fluxo de fluido na tubulação. Esse método exige somente um transdutor de pressão localizado ao longo
10 da tubulação para medir pressão, aparelho de medição de tempo, e um conhecimento de taxa de fluxo de tubulação. A simplicidade do equipamento e a configuração exigida para determinar a localização do vazamento tornam esse método altamente eficaz em custo.

15 A FIG. 2A representa esquematicamente uma segunda modalidade da presente invenção, implementada na tubulação da modalidade das FIGs. 1A a 1C. A FIG. 2B é um gráfico da resposta de pressão correspondente em 340. Na FIG. 2A, a tubulação 303 é mostrada depois da introdução dos elementos de
20 vedação 307 e depois de uma vedação 317 do vazamento 309 ter ocorrido como na modalidade da FIG. 1B. Nesse caso, entretanto, o evento de vedação produz ondas de pressão transiente 331, que são registradas como variações de pressão nos transdutores 315.

25 A magnitude do transiente (Δp) é dada por:

$$\Delta p = - \rho \Delta V c$$

onde

ρ é a densidade do fluido

ΔV a mudança de etapa na velocidade da tubulação devido à vedação do vazamento

c é a velocidade do som no fluido

Preferencialmente, para um transiente a ser gerado, um único elemento de vedação fornecerá uma vedação quase instantânea do vazamento. Para vazamentos lineares ou maiores (por exemplo, rachaduras ou defeitos de soldagem), vários elementos de vedação podem agir em conjunto para vedar o vazamento. Nesse caso para um único transiente ser gerado, a ação de vedação combinada deve acontecer em um intervalo de tempo ΔT tal que ΔT é menor do que $2L/c$, onde L é o comprimento da linha, e c é a velocidade do som no fluido.

O gráfico 340 da FIG. 2B representa essa variação de transiente de pressão. O traço 341 indica a variação de pressão com o tempo e no tempo 349 depois da introdução dos elementos de vedação 307, o transiente de pressão 331 é observado como um pulso distinto de pressão 347.

O cálculo da localização do vazamento é executado de uma maneira similar à modalidade acima das FIGs. 1A a 1C. Nesse caso, o tempo da mudança de pressão transiente 347 observado nas medições de pressão 341 é usado como o tempo para chegada no vazamento dos elementos de vedação. Esse método é vantajoso em situações onde a mudança de estado de equilíbrio em pressão, como descrito na modalidade acima, é difícil de detectar.

Deveria-se entender que uma mudança de pressão devido a ambos um aumento de pressão de estado de equilíbrio e transientes de pressão chegam no fluido da tubulação devido

a um único evento de vedação. A FIG. 3 é um gráfico da resposta de pressão medida em um dos transdutores 315 das modalidades acima, onde o traço 381 indica o efeito de ambos uma elevação em estágio de equilíbrio na pressão e transientes de pressão devido à vedação do vazamento. O evento de pressão combinada 387 ocorre no tempo 389 depois da introdução dos elementos de vedação 307. A localização do vazamento é calculada como acima usando o tempo 389 para representar o tempo para os elementos de vedação 307 viajarem a partir do ponto de entrada 301 ao vazamento 309.

Usando o sinal de pressão combinado disponível a partir de transientes de pressão e a mudança de pressão de estado de equilíbrio, uma indicação mais clara do tempo da vedação é fornecida, e, portanto, a localização do vazamento pode ser estimada com maior precisão. Além disso, os efeitos combinados podem auxiliar a diagnosticar um evento de vedação, particularmente em tubulações com significativo ruído ambiente.

As FIGs. 4A e 4B esquematicamente mostram uma modalidade adicional da presente invenção, na qual transientes de pressão são usados para determinar a localização do vazamento em relação aos pontos de medição. Esse método de determinação não exige determinação ou estimativa da velocidade ou distância viajada por elementos de vedação fluindo até o vazamento.

Com relação à FIG. 4A, a seção da tubulação 359 com fluido 354 fluindo através dela é geralmente representada em 350. A tubulação 350 é mostrada depois de formar uma

vedação 358 de um vazamento tendo introduzido elementos de vedação 356 ao fluxo de fluido de uma maneira similar às modalidades acima descritas. Uma onda transiente de pressão 352 é gerada em resposta à vedação do vazamento na tubulação 5 359 e viaja fluxo acima e fluxo abaixo da localização do vazamento. Ao longo da tubulação 359, é montado um transdutor ascendente 355 localizado fluxo acima da localização do vazamento e um transdutor fluxo abaixo 357 localizado fluxo abaixo da localização do vazamento para monitorar pressão de 10 fluido na tubulação. Nesse caso, os transdutores 355 e 357 são configurados para ter uma resolução apropriada para detectar as variações de transiente de pressão 352 com o tempo. A distância 353 do transdutor ascendente 355 até o vazamento e a distância 351 do transdutor descendente 357 ao va- 15 zamento são indicativos da localização do vazamento, à medida que as posições dos transdutores ao longo da tubulação são conhecidas.

Na FIG. 4B, um gráfico da variação de pressão com o tempo medida nos transdutores é geralmente representado em 20 360. A variação de pressão com o tempo medida no transdutor ascendente 355 é representada pelo traço 365 e a variação de pressão com o tempo medida no transdutor descendente 357 é representada pelo traço 367 do gráfico 360. A chegada de transientes de pressão 352 no transdutor ascendente 355 é 25 indicada pela anomalia 369 do traço de pressão 365 e no transdutor descendente 357 é indicada pela anomalia 371 do traço de pressão 367. Uma diferença de tempo, Δt , 373 é determinada a partir dos tempos de chegada, t_1 e t_2 , do tran-

siente nos transdutores ascendente e descendente.

Nessa modalidade, o cálculo da localização do vazamento usando a informação de tempo de chegada exige a determinação da velocidade em que os transientes se propagam através do fluido na tubulação. Teoricamente, os transientes de pressão 352 devido ao evento de vedação viajam a partir da localização do vazamento até o transdutor em uma velocidade característica de ondas de pressão do sistema de tubulação e fluido. A velocidade característica de ondas de pressão do sistema de fluido e tubulação é determinada fornecendo-se um sinal de pressão ao fluido, por exemplo, desligando-se e abrindo-se uma válvula no fluxo, e medindo-se o tempo que o sinal leva para viajar uma certa distância, por exemplo, entre transdutores de pressão. A velocidade característica permite às distâncias serem calculadas a partir das diferenças de tempo.

A diferença de tempo 373 entre tempos de chegada, t_1 e t_2 , nos transdutores ascendente e descendente 355 e 357, dividindo pela velocidade característica, corresponde à diferença entre as distâncias dos dois transdutores ao vazamento. Por exemplo, o vazamento deveria estar localizado exatamente no meio entre os dois transdutores, os transientes deveriam chegar em cada transdutor ao mesmo tempo e a diferença em distância é zero. A distância 353, denotada A , é dada pela fórmula:

$$A = \frac{1}{2} \times [(A + B) - (v_{ch} \times \Delta t)],$$

Onde a velocidade característica é v_{ch} , Δt é a diferença de tempo entre o tempo de chegada dos transientes

nos transdutores descendente e ascendente, B é a distância do vazamento ao transdutor descendente, e (A + B) é a distância entre o transdutor ascendente e o descendente. A distância 353, ou A, determina a posição do vazamento em relação à posição do transdutor ascendente 355.

A confiabilidade desse método na prática foi examinada executando-se testes usando instalações em laboratório de pequena e grande escala mostradas esquematicamente nas FIGs. 5A e 5B, respectivamente.

10 A plataforma de teste de pequena escala 1 compreende uma tubulação através da qual água é fornecida em uma extremidade da tubulação de teste 19 e drenada em uma segunda extremidade da tubulação 3 longe da primeira. O fornecimento de água 19 é direcionado através da tubulação a partir da primeira extremidade próxima à segunda extremidade distante em pressão, que é gerada localizando-se o fornecimento de água 15 m acima da seção principal 4 da tubulação 3. Na seção principal 4 da tubulação, é fornecida uma seção de teste 7 da tubulação contendo um orifício de pequeno diâmetro para simular vazamento de um fluido pressurizado na tubulação para a atmosfera. A seção de teste 7 é intercambiável com as diferentes seções tendo vazamentos com tamanhos diferentes.

25 Em cada extremidade da seção teste 7, a pressão do fluido na tubulação é medida por um transdutor de pressão ascendente 5 e um transdutor de pressão descendente 9. Uma saída próxima à seção de extremidade elevada 21 fornece um potencial contra o qual pressão pode ser gerada na tubulação

3.

A plataforma de teste de grande escala 31 compreende uma parte de linha ascendente 36 enrolada em um tambor 39, uma seção de teste 33 tendo um orifício para replicar um vazamento e uma parte de linha descendente 38 enrolada em um tambor 40. A seção de teste 33 está localizada e conectada entre as linhas ascendente e descendente 36 e 38, e é conectada de forma intercambiável como na configuração de pequena escala 1 na FIG. 5A, permitindo testes para vazamentos de tamanhos diferentes a serem executados. No sistema de grande escala 31, uma bomba 41 é usada para bombear fluido através da linha em alta pressão. A pressão de fluido na tubulação é gerada contra uma pressão de volta associada com as linhas enroladas nos tambores 39 e 40. A pressão é monitorada por três transdutores de pressão, um transdutor ascendente 35, um transdutor de pressão descendente 37, e, em adição, um transdutor na localização do vazamento na seção de teste 33.

Durante os testes, a pressão é continuamente monitorada pelos transdutores de pressão ascendente e descendente da seção de teste, e, no caso dos testes de grande escala, também na localização de teste. Os orifícios nas seções de teste são vedados e as variações de pressão observadas e registradas. O registro da pressão na tubulação é executado conectando-se o transdutor de pressão a um registrador de dados que, por sua vez, alimenta um computador permitindo análise dos dados de pressão de múltiplos canais. Taxas de amostra do registrador de dados e transdutores 7 são altas, por exemplo, 1 a 5 kHz, de modo a obter boa resolução. À me-

dida que os vazamentos na seção de teste são vedados, mudanças de pressão resultantes são conseqüentemente registradas nos transdutores.

Nos testes executados usando os sistemas das FIGs. 5A e 5B, os sinais de pressão registrados nos transdutores de pressão das tubulações são registrados como uma função do tempo.

Na FIG. 6, um gráfico de traços de pressão é geralmente representado em 51 resultando de testes executados usando a plataforma de teste de pequena escala da FIG. 5A. O gráfico 51 compreende um eixo de ordenadas 55 correspondente à pressão e um eixo de abscissas 53 correspondente ao tempo. Um primeiro traço de pressão 57 descreve a variação de pressão como tempo medida em um transdutor de pressão 12,19 m (40 pés) fluxo acima de um vazamento na seção de teste 7 da FIG. 5A. Um segundo traço de pressão 59 descreve a variação de pressão com o tempo medida em um transdutor de pressão localizado 0,31 m (1 pé) fluxo abaixo do vazamento da seção de teste 7 da FIG. 5A.

Os traços de pressão 57 e 59 ambos exibem aumentos de pressão pontualmente 61 e 63, fluxo acima e fluxo abaixo do vazamento. Esses dois eventos medidos nos transdutores correspondem à chegada de transientes de pressão nos transdutores ascendente e descendente 5 e 9 que são gerados devido ao fechamento do vazamento no instante da vedação. O aumento de pressão pontual 61 no transdutor 9 descendente do vazamento em um tempo anterior ao aumento de pressão correspondente 63 no transdutor ascendente 5 do vazamento indica

que o transiente de pressão chegou primeiro no transdutor descendente. Uma diferença de tempo de aproximadamente 10 milisegundos é evidente entre a chegada do transiente nos transdutores ascendente e descendente 5 e 9, permitindo a
5 obtenção da localização do vazamento.

Testes similares foram executados no sistema de grande escala descrito na FIG. 5B. Os resultados dos testes executados com o sistema configurado com o transdutor de pressão ascendente localizado 100 pés (aproximadamente 30 m)
10 fluxo acima do vazamento e o transdutor descendente localizado 900 pés (aproximadamente 274 m) fluxo abaixo do vazamento são representados nas FIGs. 7A, 7B e 7C.

A FIG. 7A geralmente representa em 71 um gráfico de respostas de pressão ascendente, descendente e na localiza-
15 zação do vazamento para a plataforma de grande escala vedando um orifício de 1 milímetro em uma linha de aço inoxidável de 3/8 polegada (aproximadamente 19 mm). O eixo das ordenadas do gráfico 75 é pressão e o eixo das abscissas 73 é tempo. No gráfico 71, um traço de pressão 77 representa a varia-
20 ção de pressão com o tempo medida no transdutor localizado 30 m fluxo acima do vazamento, o traço 79 representa a variação de pressão com o tempo medida no transdutor de pressão 274 m fluxo abaixo do vazamento, e o traço 81 representa a
25 variação de pressão com o tempo medida em um transdutor de pressão localizado na localização do vazamento.

Cada um dos traços tem três seções características. Primeiramente, uma parte anterior 85 é **CARACTERIZADA** por um trem de pulsos repetitivos de magnitude consistente

devido à ação de uma bomba alternada. Uma segunda parte de evento 87 dos traços é caracterizada por amplitudes aumentadas relativas à parte anterior 85, e, em terceiro, uma seção posterior 83 do gráfico 71 é caracterizada por um trem de pulsos variável oscilando em torno de um gradiente de pressão aumentando em equilíbrio. A parte de evento 87 resulta de chegadas de transiente de pressão nos transdutores 37 em resposta ao evento de vedação de vazamento.

O comportamento oscilatório total da variação de pressão com o tempo detectado em todos os traços é um resultado do tipo de bomba 41 usado para pressurizar o fluido através da plataforma de teste 31. A natureza previsível dessa oscilação a habilita a ser filtrada usando técnicas de processamento de dados, e auxilia a isolar a resposta a mudanças em pressão correspondentes ao evento de transiente de pressão sozinho.

Nas FIGs. 7B, o conjunto de dados da FIG. 7A é exibido depois de ser submetido a etapas de processamento de dados. Depois do processamento, as variações de pressão transiente devido à vedação do vazamento que foram medida no transdutor ascendente 99 do vazamento, na localização do vazamento 97 e no transdutor descendente 101 do vazamento são bem definidas comparadas com a parte de evento 87 da FIG. 7A exibindo os dados brutos. Os traços permitem os tempos exatos de chegada do transiente nos transdutores a serem prontamente determinados.

O método dos testes de sistema de grande escala foi repetido para a vedação de um vazamento de 0,3 milíme-

tro. O cálculo da localização do vazamento foi executado de uma maneira idêntica. Nesse caso, o vazamento poderia estar localizado entre 107 pés (aproximadamente 32 m) e 137 pés (aproximadamente 42 m). A melhoria em precisão é um resultado de ser capaz de sustentar uma pressão mais alta antes de vedar o vazamento e, portanto, foi possível obter valores menos discrepantes para a velocidade característica do transiente de pressão na tubulação antes e depois da vedação.

Testes práticos indicam que a localização do vazamento usando esse método de transientes de pressão pode ser precisa dentro de uma distância estabelecida determinada pela taxa de amostragem dos transdutores. Um exemplo disso seria uma taxa de amostra de 1 kHz que pode ser usada para localizar um vazamento dentro de uma distância de 5,6 m, independente do comprimento da linha. Esse método pode fornecer, portanto, uma indicação mais precisa da localização do vazamento ao longo da linha comparada com simplesmente sincronizar os elementos de vedação ao vazamento nas modalidades descritas acima.

As FIGs. 8A e 8B esquematicamente mostram uma modalidade adicional da invenção, na qual a posição do vazamento é detectada usando respostas a transiente de pressão medidas em um único transdutor localizado ao longo de uma tubulação. Na FIG. 8A, uma tubulação 403 tem uma vedação de vazamento 417 formada pelos elementos de vedação 415 introduzidos no fluido 401 na tubulação. Em resposta à vedação, ondas de transiente de pressão primária 407 são geradas, as quais propagam através do fluido ascendente e descendente em

uma velocidade característica. Na extremidade descendente da tubulação 403 está um limite sólido 411. Esse limite age para refletir os transientes de pressão primários 407 chegando no limite 411 de volta fluxo acima como os transientes de pressão refletidos 409. As variações de pressão dos transientes de pressão primários e refletidos 407 e 409 são medidas em um transdutor de pressão 405 montado na tubulação ascendente da localização do vazamento. Informação registrada no transdutor de pressão 405 é usada para determinar a localização do vazamento em relação ao transdutor calculando-se a distância 413.

A FIG. 8B é um gráfico 420 da variação de pressão com o tempo medida no transdutor 405. Um traço 421 indica o tempo de chegada do transiente de pressão primário pela anomalia 427 e o transiente de pressão refletido pela anomalia 429 do traço 421. A diferença de tempo 431 entre as chegadas é diagnostico da distância viajada e a partir dessa a localização determinada do vazamento.

Nessa modalidade, a determinação da distância 413 e da localização do vazamento é executada como na modalidade da FIG. 4A e 4B, usando a diferença de tempo de chegada entre os transientes de pressão primário e refletido. Nesse caso, a posição do transdutor 405 é conhecida junto com a distância do transdutor ao limite de reflexão 411. A distância 413 do transdutor 405 à localização do vazamento, denotada A, é dada pela fórmula:

$$A = 1/2 \times [2 \times (A + B) - (v_{ch} \times \Delta t)],$$

Onde a velocidade característica é v_{ch} , Δt é a di-

ferença de tempo entre o tempo de chegada do transiente primário e os transdutores ascendentes de transiente refletido, B é a distância do vazamento ao limite de reflexão, e $2 \times (A + B)$ é a distância do transdutor ascendente ao limite de reflexão e de volta ao transdutor ascendente.

A FIG. 9 é um gráfico de variação de pressão com o tempo medida em um transdutor descendente, em um transdutor ascendente e em um transdutor localizado no vazamento. Fluxo acima do vazamento, um segundo evento transiente 201 é evidente, o qual é um resultado do transiente refletido. Isso demonstra que informação considerando os transientes refletidos pode ser observada nos registros de variação de pressão e pode ser interpretada de forma útil e processada a partir do ruído.

O método dessa modalidade habilita a localização de um vazamento a ser determinada usando somente um transdutor de pressão. Isso permite à localização do vazamento ser executada usando equipamento relativamente simples.

Em uma extensão dos métodos de transiente de pressão nas modalidades das FIGs. 4A e 4B, e das FIGs. 8A e 8B, a análise de transiente é executada para determinar o tamanho dos vazamentos em tubulações. Com relação à FIG. 10, é geralmente representado em 450 um gráfico esquemático de respostas de pressão. O gráfico 450 compreende o eixo das abscissas 451 como tempo e o eixo das ordenadas 453 como pressão. A variação de pressão com o tempo é indicada pelos traços 455 e 457, que ambos indicam eventos de transiente de pressão 459 e 461. Os traços podem resultar de eventos de

vedação de vazamento diferentes. Nessa modalidade, as amplitudes 463 e 465 das anomalias de transiente de pressão 459 e 461 são medidas como parte do processo de análise.

As amplitudes 463 e 465 estão relacionadas com o tamanho do vazamento através de relações empíricas. Em geral, os tamanhos dos transientes são afetados pelo contraste de pressão entre o vazamento e o ambiente ao redor na localização do vazamento. Grandes gradientes de pressão causam uma grande resposta a transiente mediante vedação. O fluxo de fluido através das tubulações tendo vazamentos de pequeno tamanho pode acomodar tais gradientes. Vazamentos maiores inibem altas pressões sendo sustentadas na tubulação.

Resultados de testes práticos auxiliaram a estabelecer as relações empíricas entre o tamanho do vazamento e o tamanho do transiente.

Geralmente representados no gráfico em 261 na FIG. 11, os tamanhos dos transientes estão correlacionados com a área do vazamento. Os pontos de dados de teste de pequena escala 243 são marcados como diamantes, onde os pontos de dados de teste de pequena escala 245 são marcados como triângulos. Existe um ajuste de por princípio de potência 267 e 269 para os testes de grande escala e de pequena escala. A similaridade entre os ajustes mostra que há uma relação previsível entre o tamanho do gradiente e a área do vazamento para diferentes sistemas de escala. Assim, o tamanho do vazamento pode ser determinado a partir do tamanho do transiente. Nesse caso, a área do vazamento é escalonada pela área da tubulação para permitir comparação de dados entre vaza-

mentos umbilicais de diferentes escalas.

A análise do tamanho dos transientes de pressão em
adição a medir os tempos de chegada e variações de pressão
dos transientes, fornece informação adicional considerando
5 os tamanhos dos vazamentos na tubulação. Simplesmente intro-
duzindo-se elementos de vedação remotamente, vedando o vaza-
mento, medindo os transientes de pressão devido ao vazamen-
to, e analisando o tamanho e os tempos de chegada em trans-
dutores diferentes, o método permite a posição do vazamento
10 na tubulação a ser determinada junto com uma estimativa do
tamanho do vazamento. Isso fornece claros benefícios de cus-
to à medida que várias partes de informação são obtidas a
partir de uma única operação de configuração prática.

Em uso, os métodos das modalidades da invenção po-
15 dem ser usados juntos. Na FIG. 12, é geralmente representado
em 211 uma configuração prática usando o método das modali-
dades acima. Nesse caso, há um recipiente 219 e uma unidade
subaquática 221 residindo no fundo do mar 225, conectados
através de uma linha umbilical 213. Montados à linha umbili-
20 cal 213 estão transdutores de pressão 217 e 215. O fluido é
bombeado através da linha umbilical 213 a partir do recipi-
ente à unidade subaquática 221 e medições de pressão são
feitas continuamente nos transdutores de pressão ascendente
217 e descendente para exibir a possibilidade de um vazamen-
25 to 227. Mediante a ocorrência de um vazamento na linha em
algum lugar entre os transdutores, em um tempo específico
conhecido, um número de elementos de vedação é introduzido
na tubulação para vedar o vazamento 227. À medida que o va-

zamento é vedado, mudanças de pressão são observadas nos transdutores 217 e 227. As mudanças de pressão na linha umbilical 213 características do sistema 211 são medidas como um aumento na pressão de estado de equilíbrio à medida que a
5 pressão aumenta em direção ao material limitante.

Alternativamente, as mudanças de pressão medidas são mudanças de transiente devido ao próprio evento de vedação. O tempo no qual essas mudanças ocorrem permite à distância dos elementos de vedação viajando ao vazamento ser
10 determinada. Isso fornece uma primeira estimativa da localização do vazamento.

Em segundo, um transiente de pressão na tubulação 213 que viaja fluxo acima e fluxo abaixo a partir da posição do vazamento e pode ser medido nos transdutores de pressão ascendente e descendente 217 e 215. Usando a diferença em
15 tempos de chegada dos transientes de pressão nos transdutores ascendente e descendente 217 e 215, um segundo cálculo da localização do vazamento é executado. A precisão é submetida a ter dados disponíveis considerando a velocidade característica de som no sistema de fluido na tubulação 211.
20

Finalmente, transientes refletidos a partir do evento de vedação podem ser monitorados em transdutores de pressão 217 e 215 fornecendo restrições adicionais na localização do vazamento. No caso de que um dos transdutores de
25 pressão pare de funcionar, ou por outras razões operacionais, o sistema 211 fornece detecção da localização do vazamento usando somente o transdutor de pressão registrando dados considerando os transientes de pressão refletidos e não

refletidos.

Análise pós-aquisição cuidadosa das amplitudes de transiente de pressão é executada. Um conjunto de referência de relações de tamanho de transiente versus tamanho de vazamento para sistemas com pressão e escala similar ao sistema 211 é então usado para estimar o tamanho do vazamento e entender a natureza e escala física do vazamento. As ondas de transiente de pressão atenuarão à medida que elas viajam para fora da localização do vazamento causando uma redução em amplitudes de transiente medidas em grandes distâncias do vazamento. Esse efeito é levado em conta no cálculo do tamanho do vazamento.

Um número de características pode ser introduzido na configuração prática 211 que contribui para desempenho aperfeiçoado e versatilidade dos métodos de detecção de vazamento. Em particular, podem ser montados dois transdutores de pressão na tubulação ascendente do vazamento, que juntos habilitam a detecção da direção de propagação das ondas transientes de pressão. Esses dados podem ser usados para executar efeitos de interferência e reflexão dos sinais transientes.

Em adição, de modo a determinar de forma precisa a velocidade característica de transientes de pressão e velocidade de fluxo de fluido, pode haver, por exemplo, um sistema compreendendo bomba no topo da linha para fornecer um sinal transiente de pressão repetitivo à linha, junto com um medidor de velocidade de fluxo, e instrumentos de medição, tal como transdutores de fluxo e pressão. Tal sistema pode

ser empregado em um sítio do campo para testar e determinar características do sistema de tubulação de fluido antes e depois de vedar um vazamento. O uso do sistema com bomba durante a vedação do vazamento e localização do vazamento fornece detecção de um transiente depois de processamento de sinal.

Além disso, o equipamento de medição é projetado para fazer interface com sistemas existentes usados na indústria e transientes de pressão poderiam ser decodificados usando sistemas conhecidos de telemetria de pulso em lama.

Um sistema adicional de injeção e restauração de elemento de vedação é também benéfico de modo a manter o fluido na tubulação livre de quaisquer contaminantes, e minimizam a exposição dos elementos de vedação ao ambiente em torno da tubulação, tal como o ambiente marítimo.

Combinando-se os métodos para localizar o vazamento na tubulação descritos nas modalidades acima, a localização de um vazamento pode ser executada com um alto grau de precisão. A possibilidade de redundância embutida fornece um número de vantagens e métodos para determinar a posição do vazamento com dispositivos alternativos se fosse necessário fazê-lo. Essa é uma característica desejável de um sistema e método de uso quando trabalhando em ambientes de demanda. Além disso, o sistema suporta um método para remotamente parar, localizar, e dimensionar um vazamento em uma linha ou tubulação umbilical em um único processo, que economiza tempo, esforço e custos. Em particular, o método economiza significativo tempo ocioso operacional.

Um número de aperfeiçoamentos ou modificações pode ser feito às modalidades aqui descritas sem abandonar o escopo pretendido da presente invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar a localização de um vazamento de fluido em uma tubulação, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende as etapas de:

5 - Introduzir uma pluralidade de elementos de vedação na tubulação em uma primeira localização ascendente do vazamento, pelo menos alguns dos elementos de vedação são direcionados ao vazamento para causar um evento de vedação que reduz infiltração de fluido a partir do vazamento;

10 - Detectar uma mudança de pressão devido ao evento de vedação;

 - Usar dados de tempo associados com a mudança de pressão para obter informação de localização de vazamento.

15 2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende a etapa adicional de medir o tempo entre a introdução dos elementos de vedação na tubulação e a mudança de pressão.

20 3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende a etapa adicional de usar taxa de fluxo de fluido na tubulação para calcular uma distância entre a primeira localização e a localização do vazamento.

25 4. Método, de acordo com qualquer reivindicação anterior, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a mudança de pressão é detectada usando-se um único transdutor de pressão localizado na tubulação.

 5. Método, de acordo com qualquer reivindicação anterior, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a mudança de pres-

são é detectada usando-se uma pluralidade de transdutores de pressão localizados na tubulação.

6. Método, de acordo com qualquer reivindicação anterior, **CHARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende a etapa de medir a taxa de fluxo de fluido na tubulação.

7. Método, de acordo com qualquer reivindicação anterior, **CHARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende a etapa de calcular a localização do vazamento, usando-se o tempo de introdução dos elementos de vedação, o tempo da mudança de pressão, e a taxa de fluxo do fluido.

8. Método, de acordo com qualquer reivindicação anterior, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a mudança de pressão é uma mudança de pressão de estado de equilíbrio do fluido na tubulação.

9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a mudança de pressão é uma mudança de pressão transiente do fluido na tubulação.

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a mudança de pressão detectada é uma combinação de uma mudança de pressão de estado de equilíbrio do fluido na tubulação e uma mudança de pressão transiente do fluido na tubulação.

11. Método, de acordo com a reivindicação 9 ou 10, **CHARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende as etapas de:

- Detectar um primeiro sinal devido a um transien-

te de pressão causado pelo evento de vedação;

- Detectar um segundo sinal devido a um transiente de pressão causado pelo evento de vedação;

- Obter informação de localização de vazamento usando dados de tempo associados com o primeiro e o segundo sinal.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro sinal é detectado por um primeiro transdutor de pressão em uma localização ascendente do vazamento, e o segundo sinal é detectado por um segundo transdutor de pressão em localização descendente do vazamento.

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de que informação de localização de vazamento é obtida de uma velocidade de transiente de pressão característica no fluido, o tempo de detecção de transientes de pressão no primeiro e no segundo transdutor, e a localização do primeiro e do segundo transdutor.

14. Método, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro sinal é um transiente de pressão primário detectado por um transdutor de pressão, e o segundo sinal é um transiente de pressão refletido detectado pelo transdutor de pressão.

15. Método, de acordo com qualquer reivindicação anterior, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende a etapa adicional de medir uma velocidade de transiente de pressão característica no fluido gerando-se um transiente de pressão em uma localização e tempo conhecidos, e detectar um sinal

resultante em um transdutor de pressão.

16. Método, de acordo com qualquer reivindicação anterior, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende as etapas adicionais de medir a amplitude de um transiente de
5 pressão causado pelo evento de vedação, e obter informação de tamanho de vazamento a partir da amplitude medida.

17. Sistema para obter a localização de um vazamento de fluido em uma tubulação, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

10 - Uma entrada para permitir uma pluralidade de elementos de vedação a ser introduzida em uma tubulação em uma primeira localização ascendente ao vazamento, pelo menos alguns dos elementos de vedação são direcionados ao vazamento para causar um evento de vedação que reduz infiltração de
15 fluido a partir do vazamento;

- Dispositivos para detectar uma mudança de pressão devido ao evento de vedação;

- Dispositivo para obter informação de localização de vazamento a partir de dados de tempo associados com a mu-
20 dança de pressão.

18. Sistema, de acordo com a reivindicação 17, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dispositivo para detectar uma mudança de pressão é um único transdutor de pressão localizado na tubulação.

25 19. Sistema, de acordo com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o único transdutor de pressão está localizado ascendente ao vazamento.

20. Sistema, de acordo com a reivindicação 17,

CARACTERIZADO pelo fato de que o dispositivo para detectar uma mudança de pressão compreende um primeiro transdutor de pressão localizado ascendente ao vazamento e um segundo transdutor de pressão localizado descendente ao vazamento.

5 21. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 17 a 20, **CARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende dispositivo para medir a taxa de fluxo de fluido na tubulação.

10 22. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 17 a 21, **CARACTERIZADO** adicionalmente pelo fato de que compreende dispositivo para gerar um transiente de pressão na tubulação em um tempo e localização conhecidos.

15 23. Método para determinar o tamanho de um vazamento de fluido em uma tubulação, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende as etapas de:

- Introduzir uma pluralidade de elementos de vedação na tubulação em uma primeira localização ascendente ao vazamento, pelo menos alguns dos elementos de vedação são direcionados ao vazamento para causar um evento de vedação que reduz infiltração de fluido a partir do vazamento;

20

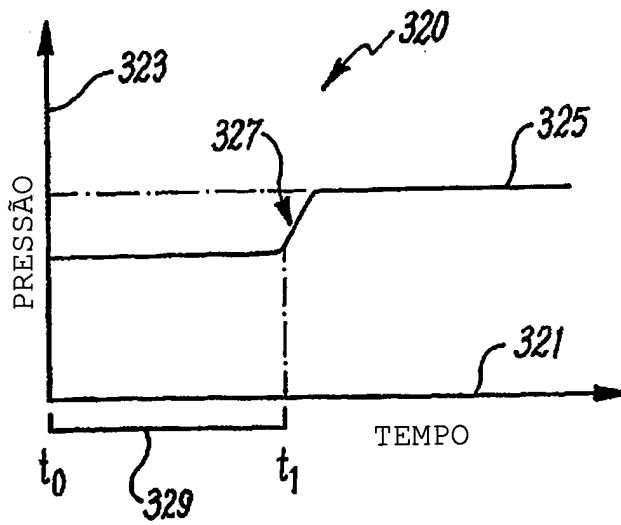
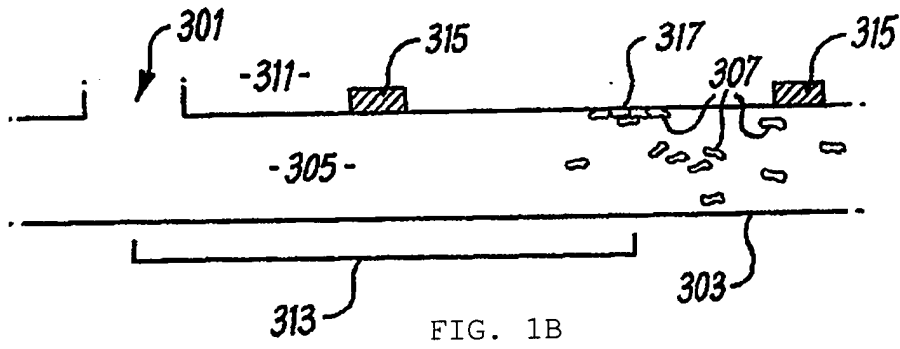
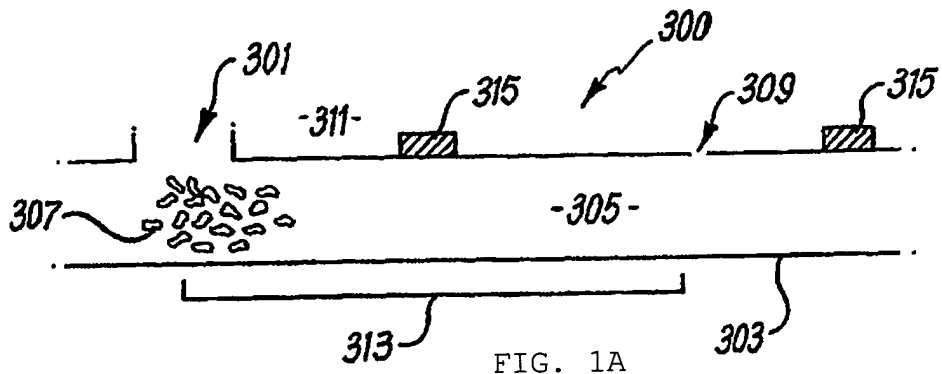
- Detectar um sinal transiente de pressão causado pelo evento de vedação;

- Medir uma amplitude do sinal transiente de pressão;

25 - Obter informação de tamanho de vazamento a partir da amplitude do sinal transiente de pressão.

24. Método, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende a etapa adicional

de determinar a localização de vazamento de acordo com o método de qualquer uma das reivindicações 1 a 16.



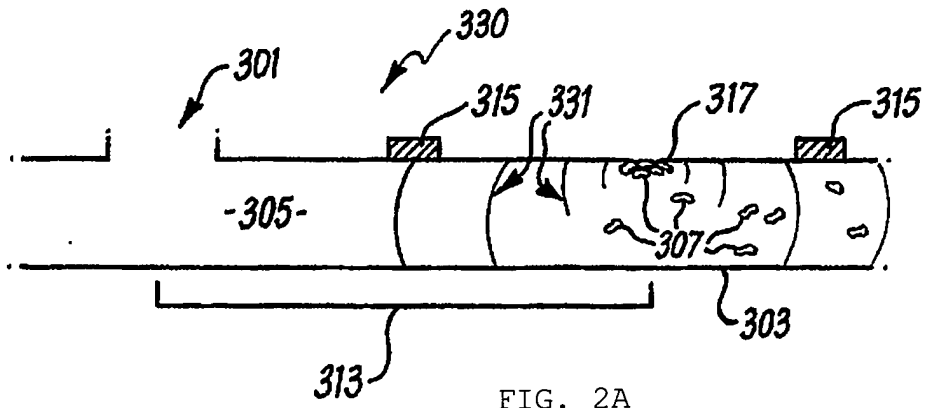


FIG. 2A

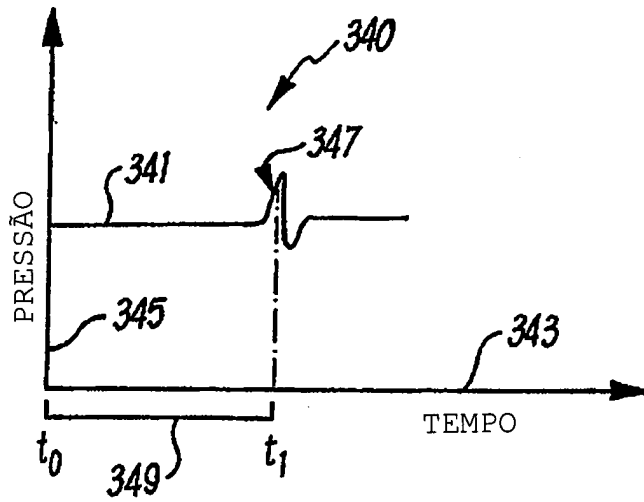


FIG. 2B

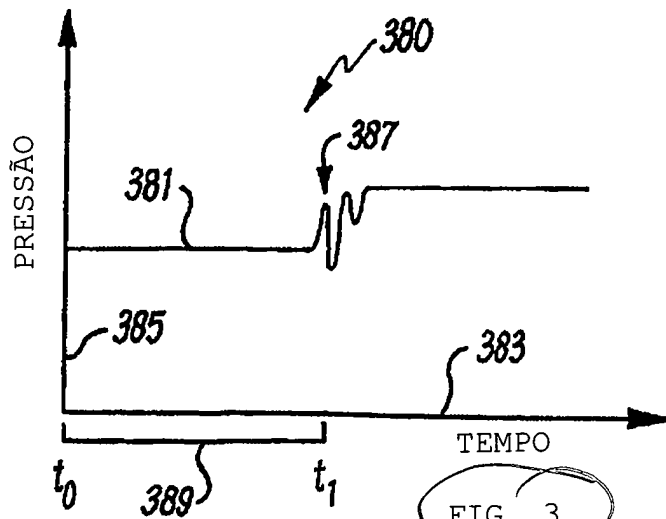


FIG. 3

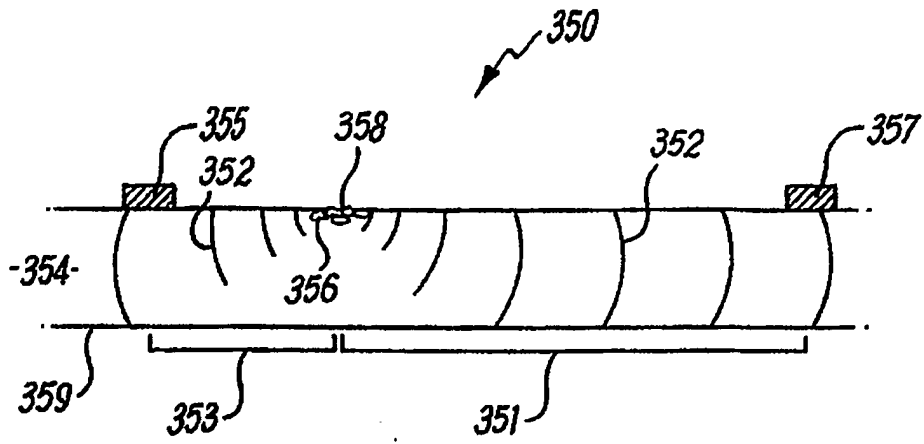


FIG. 4A

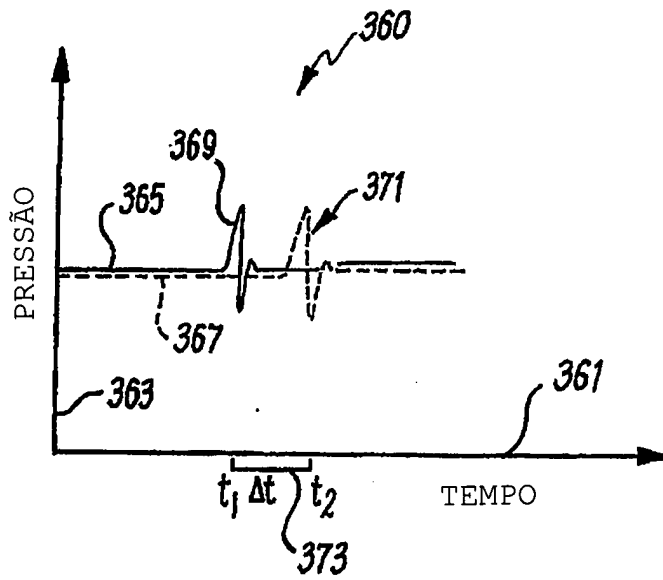


FIG. 4B

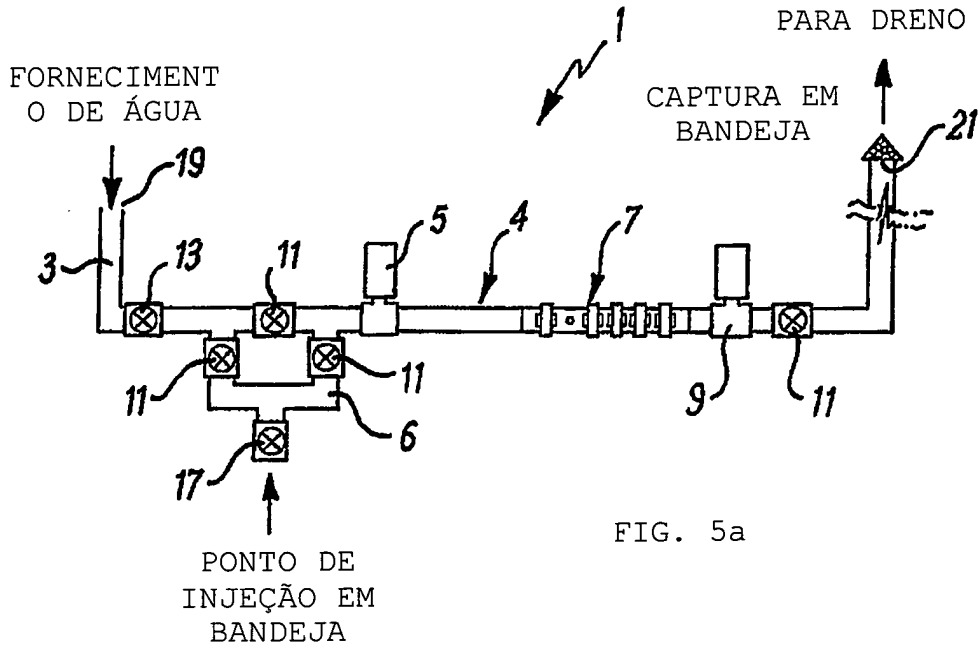


FIG. 5a

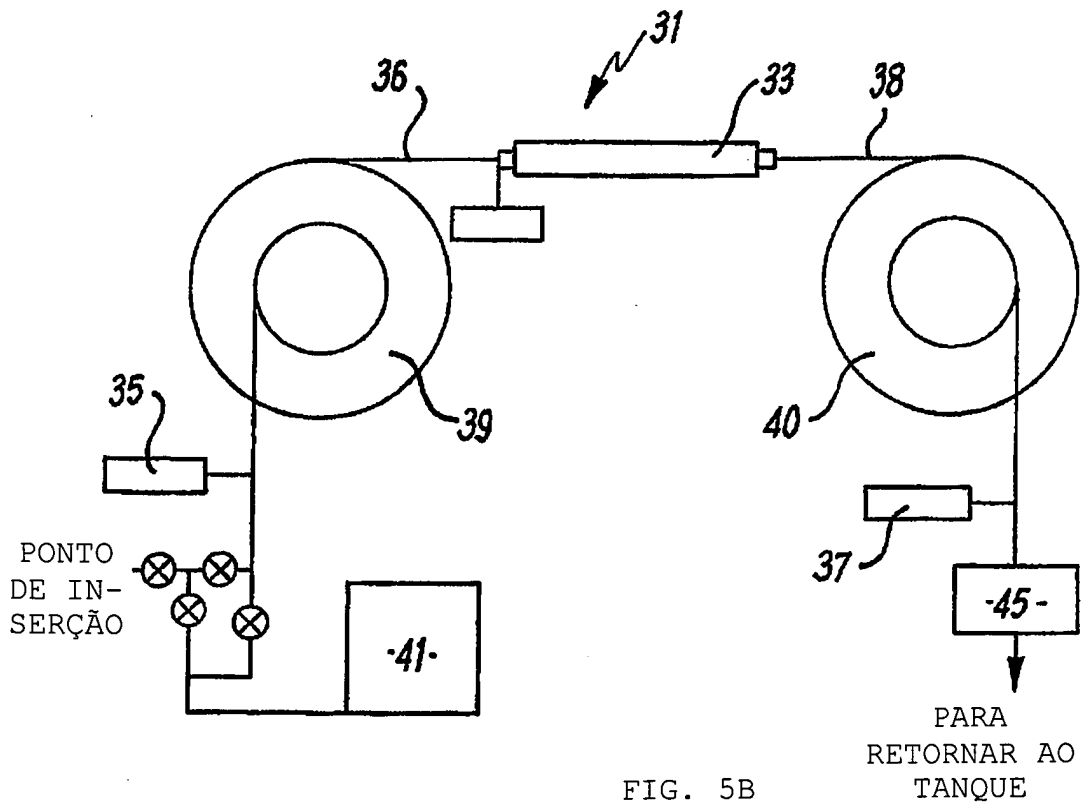


FIG. 5B

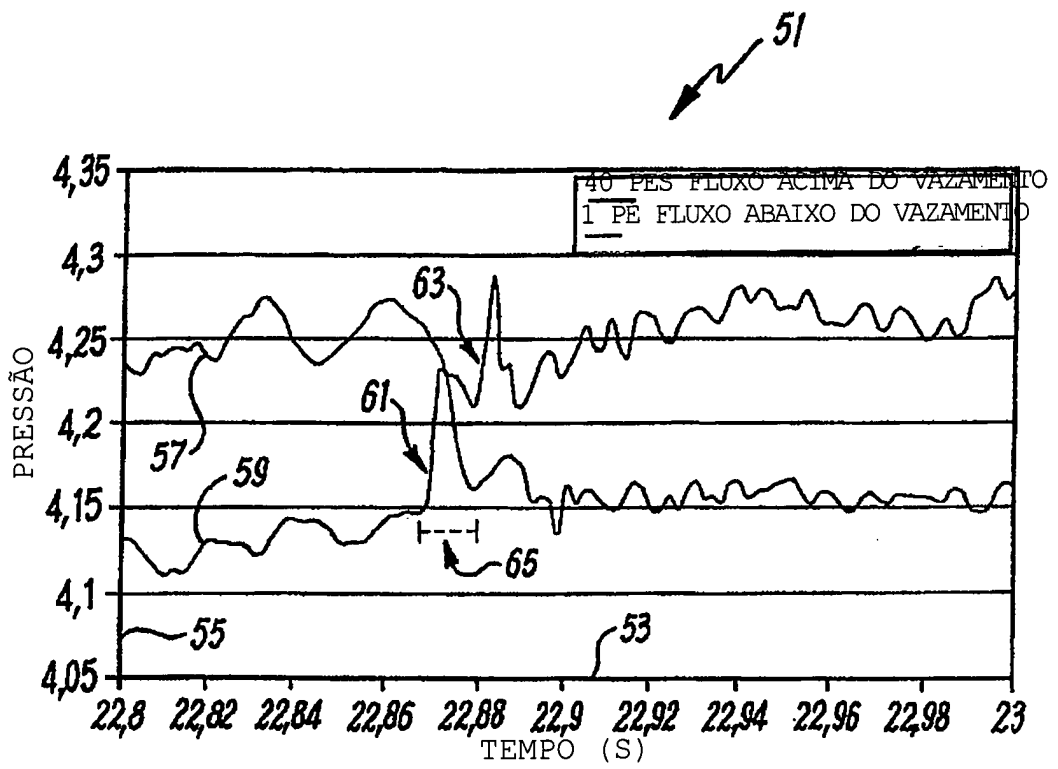
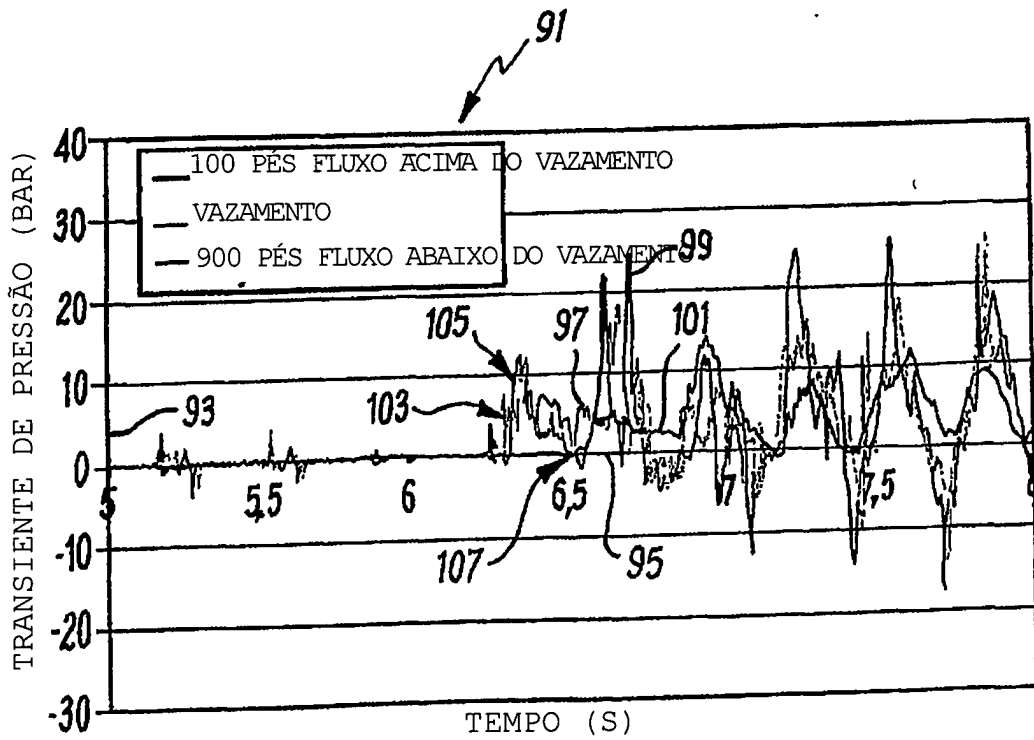
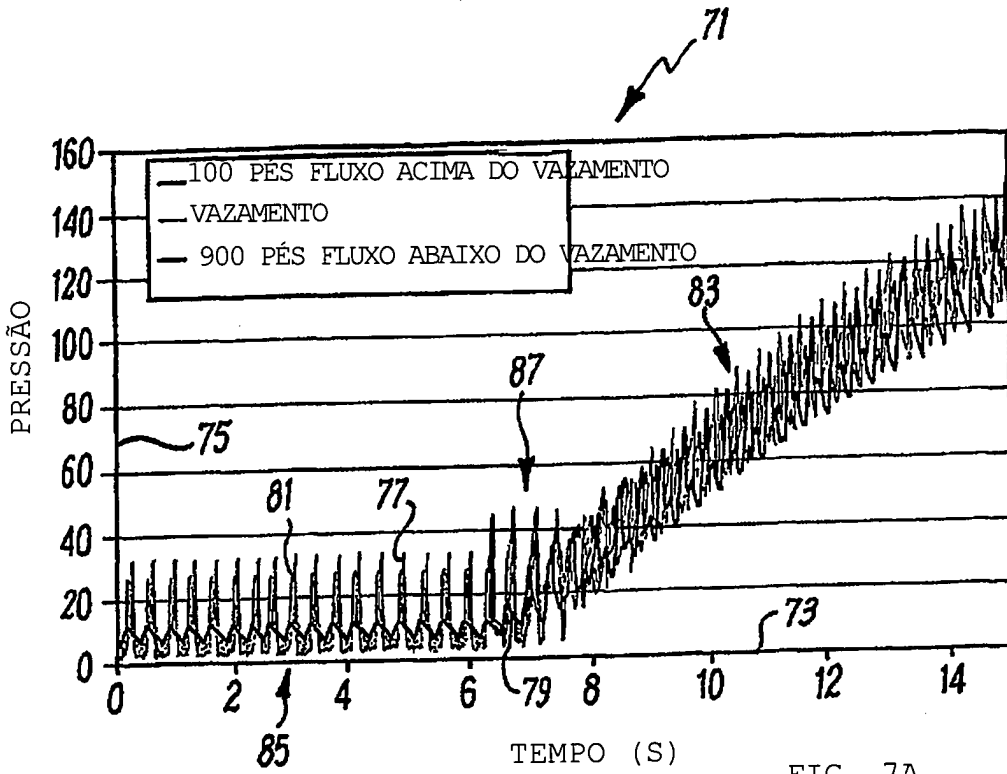


FIG. 6



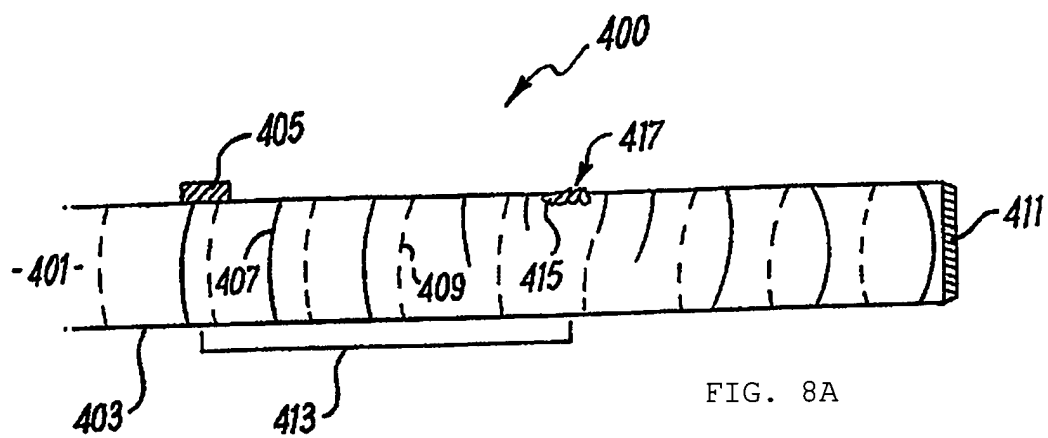


FIG. 8A

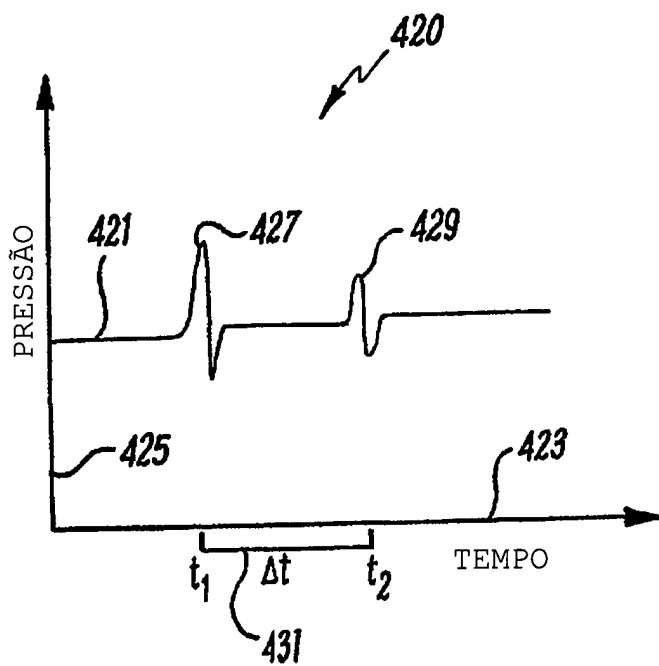


FIG. 8B

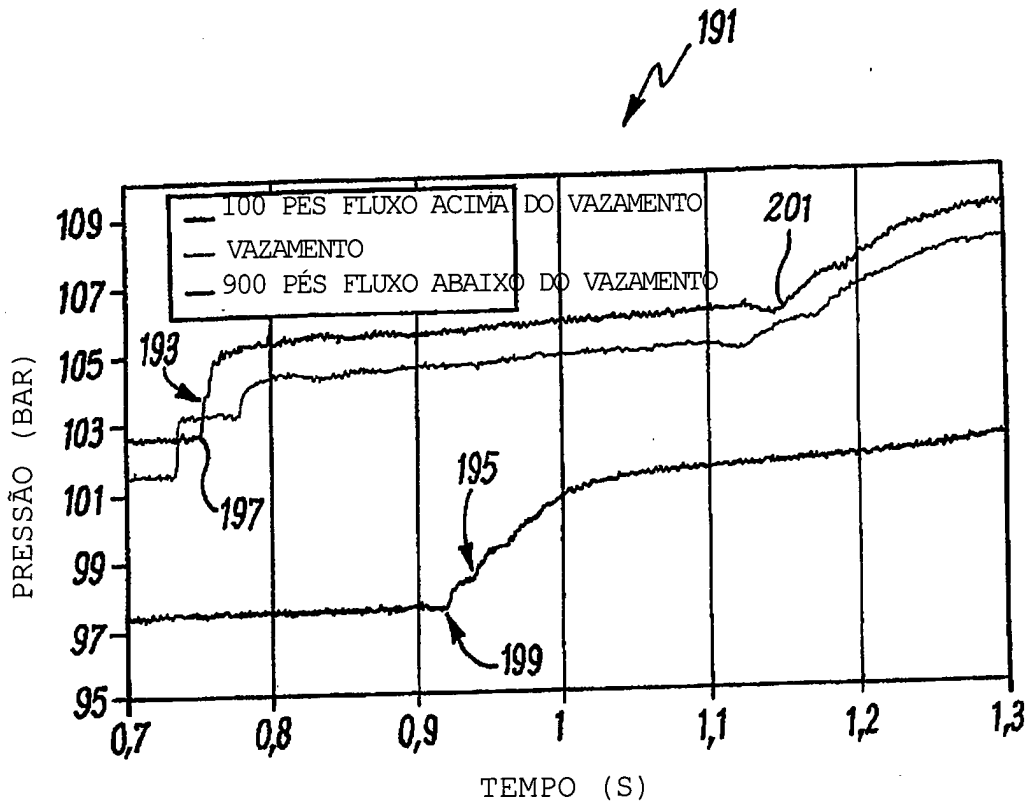


FIG. 9

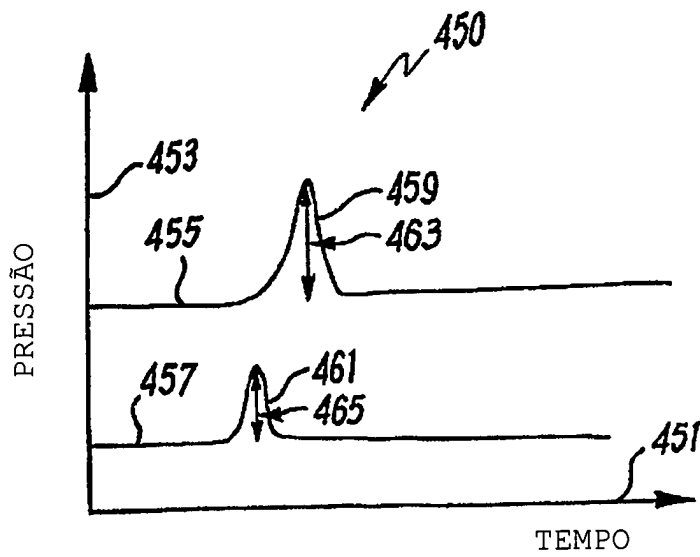


FIG. 10

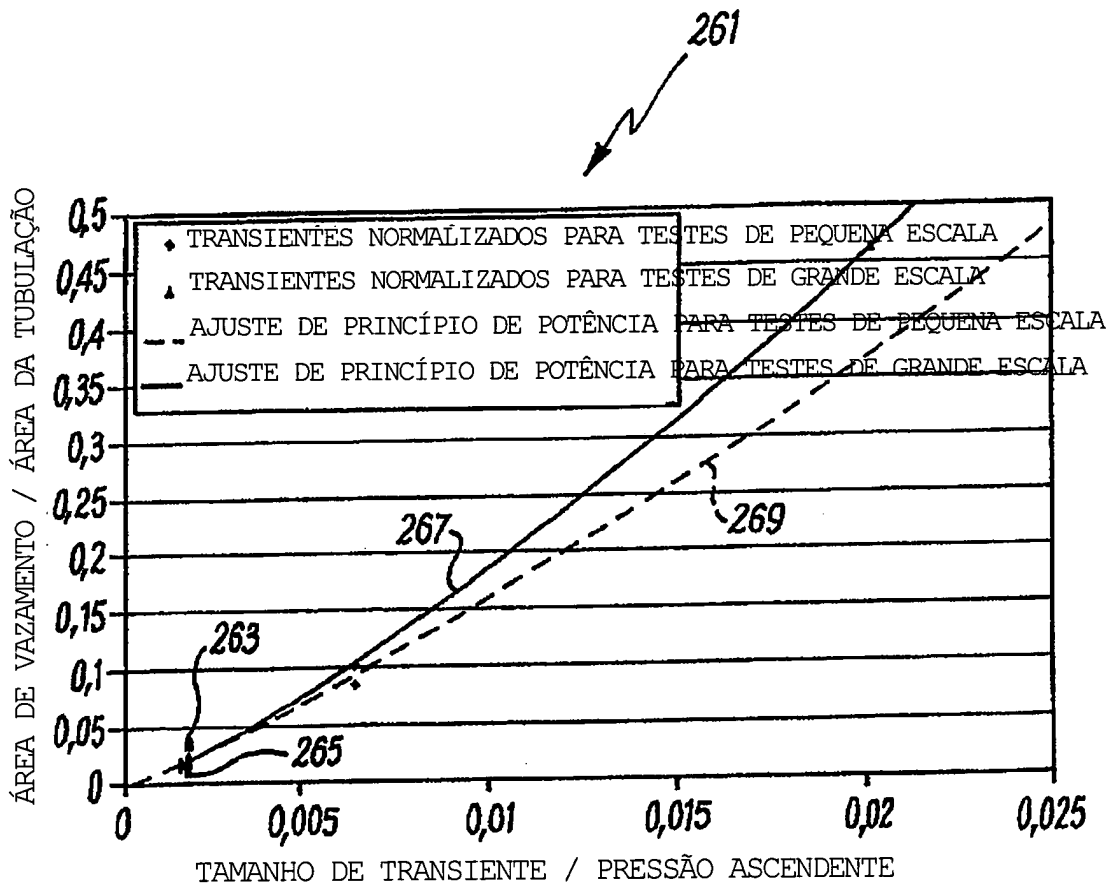


FIG. 11

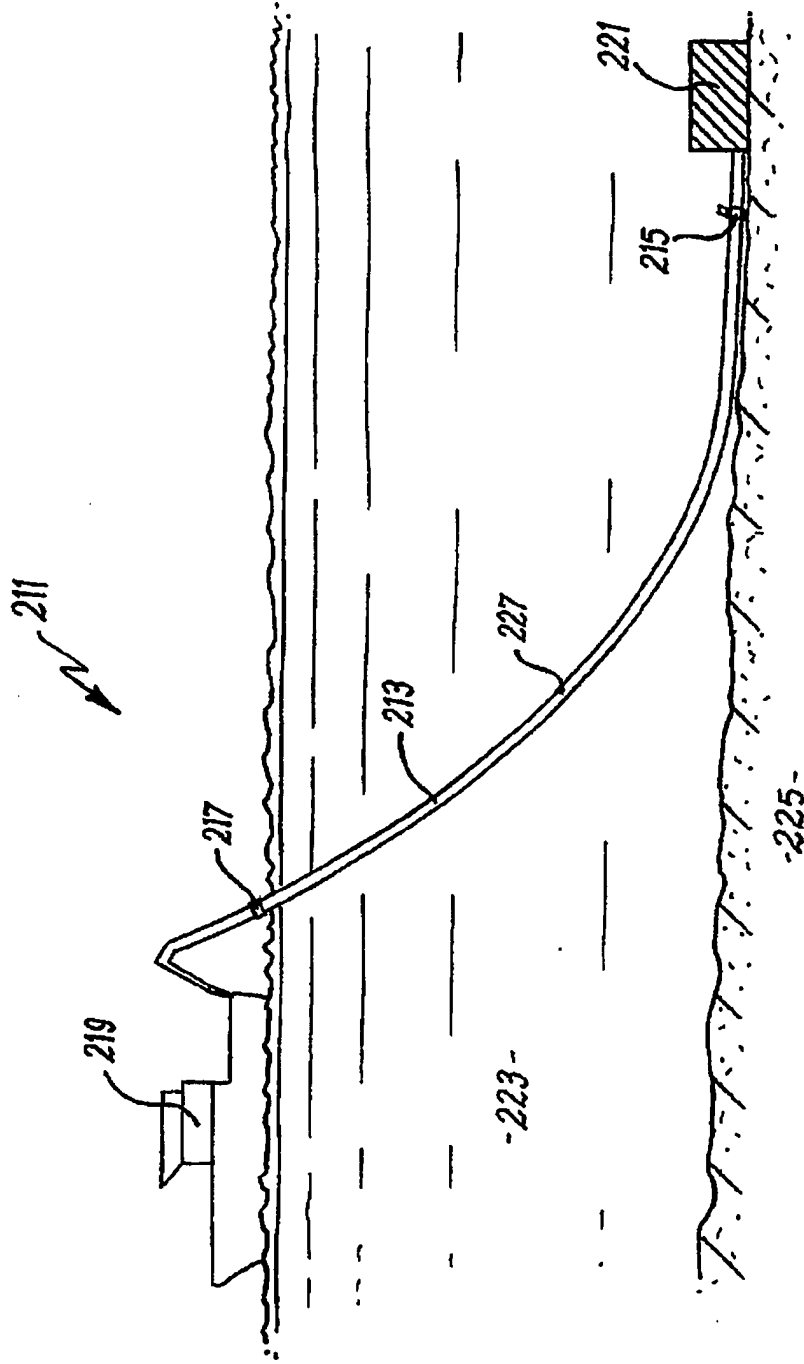


FIG. 12

P10611032-0

RESUMO

"OBTENÇÃO DE INFORMAÇÃO SOBRE VAZAMENTOS EM TUBULAÇÕES"

Um método e sistema para obter informação de vazamento de fluido são descritos. Uma pluralidade de elementos de vedação é introduzida na tubulação em uma localização ascendente do vazamento, e pelo menos alguns dos elementos de vedação são direcionados ao vazamento para causar um evento de vedação que reduz infiltração de fluido. Uma mudança de pressão causada pelo evento de vedação é detectada, e dados de tempo associados são usados para obter informação sobre o vazamento. Em uma modalidade, a informação de localização de vazamento é obtida. Em uma modalidade alternativa, informação transiente de pressão é usada para obter informação de tamanho de vazamento.