



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

(11) PI 0917504-0 B1



(22) Data do Depósito: 05/08/2009

(45) Data de Concessão: 30/07/2019

(54) Título: DISPOSITIVO E MÉTODO PARA AVALIAR PROBLEMAS DE RESISTÊNCIA DE PAREDE DE TUBULAÇÃO

(51) Int.Cl.: G01N 29/04; G01N 29/07; G01N 29/34; F16L 101/30.

(52) CPC: G01N 29/043; G01N 29/07; G01N 29/343; F16L 2101/30; G01N 2291/2636.

(30) Prioridade Unionista: 05/08/2008 US 61/086,212; 18/03/2009 US 61/161,148.

(73) Titular(es): PURE TECHNOLOGIES LTD..

(72) Inventor(es): PETER O. PAULSON.

(57) Resumo: DISPOSITIVO E MÉTODO PARA AVALIAR PROBLEMAS DE RESISTÊNCIA DE PAREDE DE TUBULAÇÃO. A invenção localiza seções com problemas de uma tubulação, tais como seções onde a parede da tubulação foi enfraquecida ou afinada. A mesma apresenta um dispositivo móvel que passa através da tubulação e que tem uma primeira estação. O dispositivo móvel tem meio para localizar sua posição de forma precisa. Existe uma segunda estação, que é montada no dispositivo móvel ou em associação com uma localização fixa na parede de tubulação. A primeira estação ou a segunda estação tem um gerador de pulso sísmico ou acústico, e a outra tem um receptor de pulso. O tempo obtido para um pulso percorrer a partir do gerador de pulso ao receptor é encontrado por variar com a condição da parede de tubulação no local onde o dispositivo móvel está localizado no tempo em que recebe (ou envia) o pulso. A taxa de alteração de velocidade do pulso na medida em que o dispositivo passa em locais diferentes na tubulação também é encontrada por variar com a condição da parede de tubulação em tal local.

DISPOSITIVO E MÉTODO PARA AVALIAR PROBLEMAS DE RESISTÊNCIA DE PAREDE DE TUBULAÇÃO.

CAMPO DA INVENÇÃO

[0001] Essa invenção refere-se a um dispositivo e método para
5 localizar problemas em resistência de parede de tubulação. Tais problemas podem ocorrer por causa da degradação e do adelgaçamento de parede ou danos ao material de parede.

ANTECEDENTES DA TÉCNICA

[0002] Tubulações são produzidas a partir de muitos materiais
10 diferentes, incluindo ferro dúctil, ferro fundido, aço soldado, plástico, concreto e cimento de asbesto. Eles carregam muitos materiais diferentes, tais como água residual, óleo, gás, ou produtos químicos. Muitas tubulações são enterradas, e ficam expostas a abrasão e corrosão exterior a partir de terra, cascalho, areia ou material semelhante em que eles são enterrados ou a
15 partir de substâncias abrasivas ou corrosivas dentro de tal material. Outras tubulações sofrem corrosão por causa das cargas elétricas, ou se tornam desgastadas e/ou corroídas por meio do material contido na tubulação. A corrosão pode ocasionar picagem por corrosão em tubulações de metal, e a ruptura de tubos de reforço em tubulações de concreto que têm reforços de
20 tubo dentro de suas paredes. As tubulações também podem ser danificadas ou enfraquecidas por meio da ação ocasionada pelos seres humanos, como, por exemplo, por meio de equipamento pesado passando por uma tubulação enterrada.

[0003] Em uso, portanto, as paredes de tubulações tendem a se
25 tornar mais finas e/ou mais fracas ao longo do tempo. Isso pode conduzir à ruptura da tubulação. Portanto, é útil determinar aquelas partes da tubulação que estão sofrendo de fragilidade ou que foram afinadas, para que a ação corretiva possa ser obtida antes das rupturas de tubulação em um local enfraquecido ou afinado.

30 [0004] Métodos comerciais atuais de avaliação de resistência

e/ou espessura de parede não são muito práticos ou não apresentam baixo custo. É possível escavar uma porção de uma tubulação e fazer um orifício pequeno para obter uma amostra (chamada de "corpo de prova") da parede de tubulação. Isso permite uma medição direta da espessura de parede e da
5 condição em que a amostra é obtida. Entretanto, coisas que poderiam ocasionar o adelgaçamento ou enfraquecimento de uma parede de tubulação não ocorrem necessariamente de forma uniforme ao longo do comprimento da tubulação. Portanto, um corpo de prova revela a situação no local preciso onde o mesmo é obtido, mas não oferece necessariamente informação útil
10 sobre outros locais ao longo da tubulação.

[0005] Também é conhecido o fato de obter medições ultrassônicas diretas de espessura de parede de tubulação onde uma tubulação fica exposta (isto é, não enterrada na terra ou diferentemente inacessível). Isso é mais barato do que obter corpos de prova, mas é limitado a locais
15 expostos, e não oferece necessariamente informação útil sobre outros locais ao longo da tubulação.

[0006] A medição acústica também foi usada, conforme descrito, por exemplo, em Hunaidi USP 6591032 e Hunaidi et al USP 7328618. Por meio desse método, a velocidade de propagação de um distúrbio de
20 frequência baixa, tal como uma liberação de fluido a partir de um ruído de tubo ambiente ou de tubo pressurizado é determinada medindo as vezes em que a onda ocasionada por meio desse distúrbio passa dois pontos fixos que ficam separados um do outro por meio de uma distância conhecida, por exemplo, dois hidrantes em uma linha de água. A velocidade de propagação
25 assim determinada é comparada com uma velocidade teoricamente calculada. O resultado é uma figura que é considerada por representar o adelgaçamento médio das paredes de tubulação pela distância fixa. A figura média não determina nenhum local específico entre os pontos fixos onde o adelgaçamento extremo ocorreu, ou até mesmo revela se existem locais
30 tendo adelgaçamento maior do que a média.

[0007] Em algumas tubulações (particularmente, na indústria de petróleo e gás), pigs de tubulação são usados para desempenhar funções de limpeza e coleta de dados. Tais pigs podem ser encaixados com dispositivos, tais como dispositivos de medição ultra-sônica ou dispositivos de medição de
5 fluxo magnético, que podem determinar a espessura de parede. Entretanto, o uso prático de um pig de tubulação instrumentada é limitado a tubulações que têm estações de operação limpa-tubos e que não têm dobramentos bruscos.

[0008] Em algumas tubulações de diâmetro muito grande, foi possível drenar a tubulação e fazer com que a equipe equipada com
10 dispositivos ultra-sônicos ou similares obtivesse medições diretas em locais selecionados caminhado através da tubulação para esses locais. A drenagem da tubulação retira a mesma de operação, então, esse método não é apropriado para verificação frequente de espessura de parede.

[0009] Seria muito útil poder determinar onde, ao longo do
15 comprimento de uma tubulação, as paredes ficaram com problemas, tornando-se mais finas e/ou mais fracas. Seria ainda mais útil poder medir um valor quantitativo que representa problemas relativos em locais ao longo da tubulação. Essa informação permitiria que manutenção ou substituição apropriada fosse realizada somente em relação àquelas seções de tubulação
20 onde o adelgaçamento ou enfraquecimento progrediu a uma extensão indevida.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0010] É um objetivo da presente invenção fornecer um método e aparelho para determinar locais de problemas na parede de uma tubulação
25 que contém um fluido

[0011] Este objetivo é solucionado respectivamente de acordo com a invenção por um método conforme a reivindicação 1 e um aparelho conforme a reivindicação 9. Modalidades preferidas da invenção são descritas nas reivindicações dependentes. **BREVE DESCRIÇÃO DOS**
30 **DESENHOS**

[0012] A invenção será ilustrada por meio de desenhos, em que:

[0013] A Figura 1 é uma vista em recorte, não para escala, de uma tubulação em que um dispositivo de inspeção móvel em forma de esfera da invenção rola ao longo do fundo da tubulação, impulsionado pelo fluxo de
5 líquidos.

[0014] A Figura 2 descreve um gráfico derivado de dados recolhidos por meio do dispositivo de inspeção da Figura 1.

[0015] A Figura 3 é uma vista em recorte, não para escala, de uma estação e uma tubulação em que um dispositivo de inspeção móvel
10 preso com cabo da invenção é movido com ou contra fluxo de líquidos ajustando o comprimento de seu cabo.

[0016] A Figura 4 é uma vista em recorte, não para escala, de uma tubulação em que um pig de tubulação equipado de acordo com a invenção se move na tubulação, impulsionado por fluxo de fluido ou um
15 motor.

[0017] A Figura 5 é um gráfico mostrando resultados a partir de uma inspeção de tubo real usando uma modalidade do dispositivo da invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0018] A invenção é utilizável com tubulações produzidas a partir
20 de ferro dúctil, ferro fundido, aço soldado, plástico, concreto ou cimento de arbesto, e também pode ser utilizável com tubulações de outros materiais. A tubulação precisa conter um fluido através do qual pulsos na frequência ou nas frequências usada(s) pode se propagar. De acordo com a presente
25 invenção, o fluido é um líquido. O líquido particular não é crucial, e pode ser, por exemplo, água, água residual ou esgoto, óleo, um produto de petróleo, LNG ou um produto químico líquido. É preferencial que a tubulação seja preenchida com o líquido e é especialmente preferencial que a pressão de tubulação seja pelo menos ligeiramente mais alta do que pressão
30 atmosférica. Entretanto, a invenção trabalhará, embora usualmente não de

forma conveniente, quando a tubulação não é pressurizada e/ou quando existe um vão de ar acima do líquido, contanto que exista um trajeto de líquido contínuo no comprimento da tubulação sendo examinada.

[0019] Conforme notado acima, a invenção exige duas estações, 5 pelo menos uma das quais está em um dispositivo de inspeção móvel. A outra pode estar no dispositivo ou em outro local fixo ou conhecido, ou na tubulação. De preferência, esse local é fixo em relação à parede de tubulação. Uma das estações é equipada com um gerador de pulso para gerar pulsos de ondas sísmicas ou acústicas de frequência baixa e a outra é 10 equipada com um receptor para tais ondas. Cada um do receptor e do gerador de pulso tem um meio para determinar com exatidão o tempo em que o mesmo envia ou recebe (conforme pode ser o caso) o pulso. No caso do gerador de pulso, o meio pode ser um aparelho de temporização para gerar os pulsos de onda de frequência baixa em intervalos configurados, ou um 15 relógio e um dispositivo de gravação associado que grava o tempo em que os pulsos são enviados, ou ambos. No caso do receptor, o meio é um relógio e um dispositivo de gravação associado para gravar o tempo em que os pulsos são recebidos. Onde os sinais de tempo de GPS estão disponíveis, um receptor para tais sinais é usado de preferência em lugar do relógio.

20 [0020] O dispositivo de inspeção móvel também tem um meio para determinar seu local na tubulação.

[0021] A partir do tempo conhecido em que o pulso é gerado, e o tempo conhecido em que o mesmo é recebido, o tempo obtido para pulsos para percorrer entre o gerador de pulso e o receptor pode ser determinado. 25 Tendo em vista o local do dispositivo móvel e que sua velocidade é conhecida ou pode ser determinada, a velocidade das ondas formando o pulso pode ser calculada quando o receptor está em locais diferentes. Da mesma forma, a taxa de alteração de velocidade dos pulsos pode ser determinada na medida em que o dispositivo se move a partir de um local para o outro.

30 [0022] Na modalidade em que a segunda estação está em um

local fixo na tubulação, o gerador de pulso fica localizado, de preferência, na segunda estação e o receptor fica no dispositivo móvel. Isso é preferencial pelo fato de que existe uma exigência maior de energia para gerar pulsos do que para recebê-los, e é mais fácil suprir com energia na maioria dos casos

5 um local fixo do que um dispositivo de movimento pequeno, exceto em um caso em que o dispositivo de movimento é preso com cabo e a energia pode ser passada através do cabo. A título de comodidade de descrição, essa modalidade da invenção será descrita como tendo o gerador de pulso na tubulação e o receptor no dispositivo. Ficará evidente para um indivíduo

10 versado na técnica que a invenção também é operativa quando o receptor está na tubulação e o gerador de pulso está no dispositivo, contanto que o dispositivo seja suprido com energia suficiente para gerar os pulsos.

[0023] A invenção é utilizável em tubulações em que o fluido contínuo está fluindo, ou em tubulações onde não existe fluxo. O dispositivo

15 de inspeção é escolhido de acordo com o fluxo esperado. Se o dispositivo de inspeção móvel for um que é previsto a estar contido ao longo por meio do fluxo do fluido, então, precisa existir fluido de fluxo suficiente para mover o dispositivo. Entretanto, se o dispositivo for auto-impulsionado, então não existe nenhuma necessidade de o fluido na tubulação estar fluindo no tempo

20 em que os dados são coletados de acordo com a invenção.

[0024] A tubulação também exige meios de entrada e saída para o dispositivo de inspeção móvel, para que o mesmo possa ser colocado na tubulação antes da coleta de dados e possa ser removido em seguida. Na maioria das tubulações, existem portas de acesso e inspeção que são

25 adequadas. Adicionalmente, em muitas tubulações de água existem hidrantes que podem ser usados, e em muitas tubulações de óleo existem estações de operação limpa-tubos que podem ser usadas.

[0025] O dispositivo de inspeção móvel tem um meio para determinar seu local ao longo do comprimento da tubulação. O meio

30 escolhido depende do tipo de dispositivo de inspeção usado.

[0026] Um dispositivo de inspeção preferencial é um dispositivo de inspeção não preso com cabo do tipo esfera que se move com o fluxo de líquido na tubulação conforme mostrado no pedido publicado de Paulson WO2006081671 A1. Conforme descrito naquele pedido, o local do dispositivo de inspeção pode ser determinado, por exemplo, contando a quantidade de vezes em que o mesmo foi revolvido enquanto rolava ao longo do fundo de uma tubulação, ou através de outros meios, conforme descrito naquele pedido.

[0027] Um dispositivo de esfera de densidade neutra não preso com cabo conforme mostrado no pedido publicado de Mecon WO2004059274 também pode ser usado como o dispositivo de inspeção. Nesse tipo de dispositivo, o local é determinado notando quando o dispositivo passa por transmissores eletromagnéticos que atuam como rádios-farol em locais conhecidos ao longo da tubulação e pontos de interpolação entre os rádios-farol para encontrar a velocidade de percurso do dispositivo entre os rádios-farol, e, por conseguinte, qual de seu local estava em um tempo particular quando estava entre os rádios-farol. O mesmo método também pode ser usado para outros dispositivos não presos com cabo, tais como aquele de Paulson descrito no pedido publicado WO2006081671 A1.

[0028] Em outra modalidade, o dispositivo é um dispositivo de inspeção preso com cabo que se move com o fluxo do líquido na tubulação, ou é puxado por meio de seu cabo contra a corrente. Nesse caso, o local do dispositivo pode ser determinado notando a quantidade de cabo que foi gasta em qualquer tempo, ou por meio do uso de um dispositivo de rastreamento eletromagnético sobre a superfície da terra acima de uma tubulação enterrada conforme mostrado no pedido publicado WO 0118442 A2 de WRC PLC, ou de outras maneiras conhecidas.

[0029] Um dispositivo utilizável em tubulações que têm estações de operação limpa-tubos é um pig de tubulação convencional tendo meio convencional para gravar a distância que o dispositivo percorreu dentro da

tubulação. Tal meio convencional pode ser, por exemplo, um hodômetro ou outro dispositivo conhecido que entra em contato com a parede da tubulação na medida em que o pig se move.

[0030] Uma maneira alternativa de determinar o local do
5 dispositivo é por meio do uso de ondas de frequência alta conforme descrito em Paulson, pedido PCT CA2009/000891 depositado em 25 de junho de 2009 e posteriormente publicado como WO2009155708. Conforme descrito em detalhes naquele pedido, emissões acústicas de frequência alta são enviadas a partir do dispositivo e recebidas em um local conhecido, ou são
10 enviadas a partir do local conhecido e recebidas do dispositivo. O dispositivo e o local conhecido são equipados com meio de medição de tempo sincronizado. Para o local conhecido, esse pode ser um link para receber sinais de GPS ou, se o local não for apropriado para receber sinais de GPS, pode ser um relógio. Para o dispositivo, sendo tipicamente um relógio, na
15 medida em que o dispositivo pode ser usado em tubulações subterrâneas onde sinais de GPS não atingem. O tempo de envio de cada emissão e o tempo que o mesmo é recebido são determinados com exatidão e de forma precisa. A velocidade de som da frequência usada na tubulação particular é conhecida ou é determinada empiricamente, e a distância é calculada a partir
20 do tempo decorrido e da velocidade de som. Quando esse método é usado na presente invenção com a modalidade tendo uma estação em um local fixo conhecido na tubulação, o local conhecido pode ser, de forma conveniente, a estação.

[0031] Na forma preferencial da invenção, o dispositivo de
25 inspeção é fornecido com um meio de medição de tempo, o receptor, um gravador de dados associado, e uma fonte de energia. De forma conveniente, o gravador de dados pode utilizar um dispositivo de armazenamento de dados disponível comercialmente, tal como uma memória flash ou cartão de memória SD removível. A fonte de energia pode ser uma bateria compacta,
30 tal como uma bateria de lítio de duração longa, ou (se o dispositivo estiver

preso com cabo), uma conexão a um gerador ou saída de energia encanada remota. O gravador de dados grava o tempo e o local do dispositivo ou dados a partir dos quais o local pode ser determinado. O mesmo ainda grava o tempo de recepção de ondas de frequência baixa conforme discutido abaixo.

- 5 O receptor pode ser um hidrofone que pode receber na frequência usada, ou um acelerômetro. O mesmo deve estar em contato acústico ou sísmico (dependendo do receptor) com o fluido, para que possa receber pulsos passando através do fluido. Acelerômetros e hidrofones adequados estão disponíveis comercialmente. Um exemplo de um hidrofone adequado é o
- 10 modelo VHLF fabricado pela VEMCO Division, AMIRIX Systems Inc., 211 Horseshoe Lake Drive, Halifax, Nova Escócia, Canadá, B3S 0B9. Um exemplo de um acelerômetro disponível comercialmente adequado é um cristal piezo polarizado axialmente, série de Modelo 850, disponível a partir American Piezo Ceramics Division da APC International, Ltd., Duck Run, P.O.
- 15 Box 180, Mackeyville, PA 17750 USA.

- [0032] No caso de um dispositivo não preso com cabo, o meio de medição de tempo, a fonte de energia, o gravador de dados e o receptor estão localizados no dispositivo móvel. O meio de medição de tempo é tipicamente um relógio, na medida em que o dispositivo é normalmente usado
- 20 em locais onde os sinais de GPS não penetram. Entretanto, se o dispositivo estiver previsto a percorrer através de uma tubulação em que os sinais de GPS podem ser recebidos confiavelmente, o meio de medição de tempo pode ser um link para receber sinais de GPS que fornecem uma leitura de tempo. No caso de um dispositivo preso com cabo, alguns ou todos do meio de
- 25 medição de tempo, da fonte de energia e do gravador de dados podem ser localizados remotamente e conectados com o dispositivo através de seu cabo.

- [0033] Em operação, permite-se que o dispositivo móvel se mova através da tubulação. Na modalidade preferencial, o dispositivo móvel é
- 30 uma bola esférica e rola ao longo do fundo da tubulação impulsionada por

meio do fluxo de fluido na tubulação da maneira mostrada no pedido publicado de Paulson WO2006/081671 A1. A quantidade de revoluções feitas pela esfera na medida em que rola ao longo do fundo da tubulação é gravada conforme naquele pedido, para indicar a distância percorrida. Se a tubulação
5 for produzida a partir de concreto embalado por fio ou metal soldado, um magnetômetro pode estar presente na esfera para gravar a passagem por meio das juntas de tubulação, para fornecer uma concentração da distância percorrida.

[0034] Na medida em que percorre ao longo da tubulação, um
10 receptor na esfera recebe pulsos de frequência baixa gerados por um gerador de pulso na estação. Os pulsos são gravados para exame posterior, ou poderiam ser analisados por meio de um processador on-board.

[0035] Se o dispositivo móvel for relativamente grande, tal como um veículo de lagartas robótico ou um pig de tubulação, é possível montar
15 dois receptores separados sobre o mesmo. Esses podem ficar separados, por exemplo, 2 metros. A distância entre eles é conhecida de forma precisa. Tendo dois receptores, a distância conhecida entre um e outro apresenta uma verificação de consistência em dados, e auxilia a reduzir algumas formas de erro.

[0036] Em uma primeira modalidade, usada onde o dispositivo móvel é razoavelmente grande, tal como um veículo de lagartas robótico ou um pig de tubulação, tanto o receptor quanto a segunda estação com o gerador de pulso são montados sobre o mesmo, com a distância a partir do receptor para o gerador de pulso sendo conhecida de forma precisa. Nessa
25 modalidade, o receptor e o gerador de pulso devem ficar separados pelo menos cerca de um diâmetro de tubo um do outro, e de preferência mais longe se isso for possível com o dispositivo móvel sobre o qual eles são colocados. Por exemplo, em um tubo de diâmetro de um metro, um receptor e um gerador de pulso separados exatamente 1,5 metros em um veículo de
30 lagartas robótico apresenta resultados úteis. Em uma segunda modalidade, a

segunda estação está em um local fixo na tubulação. De forma conveniente, o gerador de pulso da estação é afixado temporariamente à tubulação em um local acessível, tal como uma porta de acesso, ou a um objeto, tal como um hidrante, atuador de válvula ou cobertura de porta de acesso que pode 5 transmitir pulsos à parede de tubulação e no interior do fluido na tubulação e que é mais facilmente acessível a partir de cima da terra do que é a parede de tubulação. Tal estrutura é chamada neste documento de uma "estrutura em contato acústico ou sísmico com a tubulação". O gerador de pulso pode ser conectado ao seu armazenamento de dados associado e meio de 10 medição de tempo por meio de cabos ou sem fio. De forma conveniente, na medida em que for possível que a segunda estação esteja acima da terra, em uma área onde um operador tem acesso fácil. Se desejado, o operador também pode ter um computador que monitora o progresso do dispositivo, como, por exemplo, usando o método e aparelho de localização descritos no 15 pedido PCT CA2009/000891 discutido acima.

[0037] Em um exemplo fora do escopo da presente invenção, a segunda estação pode estar em outro dispositivo se movendo através da tubulação, contanto que o dispositivo tenha meios que permitam que seu local to seja determinado. O uso desse exemplo cria complexidade adicional 20 em cálculo, então o mesmo não é preferencial.

[0038] Cada um do receptor e do gerador de pulso está em contato acústico ou sísmico com o fluido na tubulação. O gerador de pulso gera ondas sísmicas ou acústicas de frequência baixa. A frequência é de tal modo que o comprimento de onda é maior do que o diâmetro do tubo 25 formando a tubulação para que as ondas intersectem a parede de tubulação e se propaguem parcialmente através do líquido dentro da tubulação e parcialmente através da parede da tubulação de volta no interior do líquido a partir da parede da tubulação. Geradores de pulso adequados estão disponíveis comercialmente. Um de tal gerador é o transponder modelo AA- 30 150-LH da Etrema Products Inc., 2500 North Loop Dr., Ames, IA, 50010,

USA.

[0039] Comprimentos de onda de 1,5 a 75 vezes o diâmetro da tubulação são utilizáveis. A faixa preferencial de comprimentos de onda é de cerca de 5 a cerca de 15 vezes o diâmetro da tubulação. O comprimento de onda gerado por uma frequência particular depende do material a partir do qual a tubulação é produzida, e o fluido dentro do mesmo, particularmente se o fluido é um gás ou líquido. Comprimentos de onda acima de 15 vezes o diâmetro da maioria das tubulações comerciais exigiria frequências muito baixas, em que ruído pode se tornar um problema.

10 [0040] Em lugar de determinar o comprimento de onda de som em uma tubulação particular contendo um fluido particular, e escolher o comprimento de onda do pulso a ser gerado baseado nessa informação, é usualmente mais conveniente selecionar uma frequência que é conhecida por oferecer um comprimento de onda que é adequado em tubulações contendo o fluido particular. De acordo com a presente invenção, frequências de 20 Hz a 2.000 Hz foram encontradas por serem utilizáveis para tubulações de 200 mm a 2.000 mm em diâmetro que contêm líquidos. Entretanto, muitos líquidos absorvem frequências na faixa de 500 Hz a 18.000 Hz. Se o líquido particular na tubulação que é investigada absorver tais ondas, o uso de frequências que são absorvidas deve ser evitado.

[0041] Tendo relação a todos esses parâmetros, o uso de frequências na faixa de 20 Hz a 500 Hz é preferencial para exame da maioria das tubulações comerciais que contêm líquidos, particularmente água, água residual ou óleo.

25 [0042] Conforme discutido abaixo, é possível usar um pulso que está em uma série de pulsos curtos sequenciais (neste documento chamados de "sub-pulsos") com cada um de comprimento pré-determinado, imediatamente após um ao outro. Sub-pulsos adjacentes são de frequências diferentes, com todas as frequências sendo escolhidas de acordo com os parâmetros no parágrafo anterior.

30

[0043] Uma vez que a frequência do pulso (ou o conjunto de frequências, no caso de um pulso compreendido de sub-pulsos) é escolhida, é preferencial instalar um filtro passa-banda no receptor, para excluir todos, com a exceção de uma banda estreita de frequências acima e abaixo daquela frequência ou conjunto de frequências. Isso limita a quantidade de ruído recebido, e torna a análise de resultados mais fácil. Por exemplo, um filtro passa-banda que exclui frequências de mais do que 20 Hz acima ou 20 Hz abaixo da frequência escolhida ou conjunto de frequências é adequado. Se nenhum filtro passa-banda for usado, pode ser aconselhável filtrar para fora frequências indesejáveis antes da análise dos dados armazenados por meio do dispositivo de armazenamento de dados. Um filtro passa-banda pode ser projetado, certamente, se desejado, para permitir a entrada de outra faixa de frequências muito diferentes, por exemplo, uma faixa de frequências altas utilizável para localizar a posição do dispositivo usando o método do pedido PCT CA2009/000891.

[0044] Os pulsos são repetidos em intervalos. O comprimento do intervalo entre pulsos (neste documento chamado de a "taxa de repetição") é escolhido de acordo com a velocidade de percurso esperada do dispositivo através da tubulação, para que existam pulsos recebidos quando o dispositivo de movimento está em locais separados aproximadamente a uma distância desejada um do outro. Usualmente, é desejado receber um pulso para pelo menos a cada 0,5 a 5 m, ou então de tubulação atravessada, e de preferência a cada 0,5 a 1,5 m de tubulação atravessada. Em velocidades normais de fluxo de tubulação, isso pode ser obtido com um pulso em a cada 1 a 10 segundos. Se desejado, os pulsos podem ser mais frequentes, para que a distância percorrida pelo dispositivo entre pulsos seja mais curta. Se o tempo entre os pulsos for muito reduzido, entretanto, existe uma possibilidade de que, quando o gerador de pulso estiver distante a partir do receptor, pulsos recebidos no receptor poderiam se sobrepor. Isso pode ser evitado usando duas frequências diferentes para pulsos alternados. Evidentemente, qualquer

disposição de filtro passa-banda teria que ser configurada para permitir a recepção de todas as frequências sendo usadas.

[0045] Os pulsos podem ser de qualquer comprimento conveniente. Em geral, os pulsos de cerca de 2 a 50 milissegundos são preferenciais, com pulsos de 10 a 30 milissegundos sendo especialmente preferenciais. Isso fornece um intervalo entre pulsos que é consideravelmente maior do que o comprimento de pulso, reduzindo a possibilidade de os pulsos se sobreporem se eles percorrerem uma distância longa dentro da tubulação. Um pulso pode ser de uma frequência única, ou, conforme notado acima, pode ser constituído de sub-pulsos de frequências diferentes em uma sequência pré-determinada. Um ponto de referência é estabelecido conforme o tempo de recepção do pulso para propósitos de cálculo. Esse é o início ou o fim de um pulso que é uma frequência única. Se um pulso for constituído de sub-pulsos, o ponto de referência pode ser o início ou o fim do pulso ou um ponto em que uma alteração de frequência ocorre dentro do pulso. Se um pulso constituído de diversos sub-pulsos for usado, o padrão de sub-pulsos sequenciais torna possível distinguir o pulso de qualquer ruído ambiente. Além disso, se a porção do pulso contendo o ponto de referência for abafada pelo ruído, ainda pode ser possível receber pulso suficiente para reconstituir o tempo em que o ponto de referência teria sido recebido, mas para o ruído.

[0046] Na maioria dos casos, um pulso de uma frequência única é adequado e preferencial por ser menos complicado, mas um pulso compreendendo sub-pulsos pode ser preferencial em um ambiente com ruído. A forma de onda para os pulsos deve ser exata e reproduzível. Formas de onda adequadas podem ser geradas por meio de sistemas D/A ou placas de som disponíveis comercialmente. Um produto comercial adequado é o sinal Wizard, que pode ser obtido a partir da Universidade de Manchester (*University of Manchester*) U.K.

[0047] A distância pela qual os pulsos podem ser recebidos sem ruído ou distorção indevida depende das condições dentro da tubulação. Por

exemplo, quando o receptor está próximo a uma estação de bombeamento, o ruído, a partir da estação de bombeamento, tende a abafar o sinal. Além disso, dobramentos na tubulação tendem a atenuar o sinal.

[0048] Na modalidade onde o gerador de pulso é montado em um local conhecido e fixo na parede de tubulação e o receptor fica no dispositivo móvel, é útil ter diversos geradores de pulso montados em locais conhecidos diferentes. Na medida em que o dispositivo móvel no receptor se move para baixo da tubulação, o mesmo passará sucessivamente por locais onde os geradores de pulso estão localizados. Se o sinal a partir de um for atenuado por meio da distância ou arquitetura de tubulação, o sinal a partir de outro pode ficar disponível. Geradores de pulso podem ser colocados, por exemplo, em portas de inspeção ou hidrantes ao longo da tubulação, e a quantidade de estações pode ser escolhida com relação à arquitetura de tubulação. Por exemplo, mais estações são preferenciais em tubulações com dobramentos frequentes ou dobramentos bruscos do que em tubulações lineares longas. De preferência, se existir um dobramento brusco, devem existir geradores de pulso em porções lineares em cada lado do mesmo. Essas estações devem gerar, de preferência, pulsos em frequências diferentes e, de preferência, pulsos separados um do outro em tempo por um intervalo consideravelmente maior do que o comprimento de pulso, para que os pulsos não se sobreponham.

[0049] O material do qual a tubulação é construída e como o gerador de pulso é afixado também têm um efeito sobre a recepção de pulsos. Por exemplo, os pulsos podem ser recebidos confiavelmente por uma distância mais longa em uma tubulação produzida a partir de ferro dúctil do que em uma tubulação de plástico. Pulsos gerados por meio de um gerador de pulso afixado diretamente à tubulação podem ser ouvidos a uma distância maior do que os pulsos a partir de um gerador de pulso afixado a um hidrante ou atuador de hidrante ou outro acessório de tubulação em contato acústico ou sísmico com a tubulação. Os pulsos podem ser detectados a distâncias

longas em tubulações grandes (por exemplo, 1 a 2 m em diâmetro) do que em tubulações de diâmetro menor. O líquido ou gás na tubulação, e se a tubulação for completamente preenchida com líquido, também afetam a distância pela qual os pulsos podem ser detectados.

5 [0050] Em uma modalidade preferencial, o receptor fica no dispositivo de inspeção móvel, e existem diversas estações com geradores de pulso, colocadas onde a tubulação fica facilmente acessível, como em portas de inspeção ou hidrantes. Onde possível, é preferencial que as mesmas estejam separadas não mais do que cerca de 200 a 300 metros uma
10 da outra quando uma tubulação de ferro dúctil está sendo inspecionada e não mais do que cerca de 200 metros uma da outra quando uma tubulação de plástico está sendo inspecionada. Nessa modalidade, é preferencial que o receptor esteja em boa faixa de recepção de pelo menos dois geradores de pulso em qualquer tempo durante seu percurso ao longo da tubulação, para
15 que existam pelo menos dois resultados que possam ser obtidos para cada local ao longo da tubulação. Na medida em que o dispositivo se move através da tubulação, as estações de gerador de pulso pelas quais o mesmo passou podem ser desmontadas e remontadas em outros locais acessíveis à jusante a partir do dispositivo de movimento se desejado.

20 [0051] Conforme notado previamente, na modalidade em que um do gerador de pulso e do receptor está no dispositivo e o outro é montado em contato acústico ou sísmico com a tubulação, cada um é equipado com um meio para medir tempo com exatidão. Se o gerador de pulso ou o receptor estiver em uma posição para receber sinais de GPS, seu meio para
25 medir tempo com exatidão pode ser um link para o sistema de satélite GPS. O termo "sinais de GPS" nessa invenção significa sinais de tempo a partir do sistema de satélite Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System). Ficará evidente para o indivíduo versado na técnica que qualquer outro sinal de tempo gerado remotamente altamente exato poderia ser usado
30 em lugar de sinais de GPS, e o meio de medição de tempo da invenção está

previsto a incluir tais sinais. Se nenhum sistema comparável ou GPS para provisão remota de sinais de tempo estiver acessível, um relógio é usado. Os relógios devem ser escolhidos para exatidão alta e desvio baixo, com a finalidade de obter dados exatos. Por exemplo, é preferencial que quaisquer

5 relógios usados devam medir tempo com uma exatidão de pelo menos +/-1 milissegundo por hora, com um desvio não excedendo a 50 microssegundos por um período de cerca de 10 pulsos. Quanto mais exato for e livre de desvio um relógio estiver, melhor são as considerações práticas tais como custo, tamanho e consumo de energia. Chips de temporização disponíveis

10 comercialmente podem ser usados, e o indivíduo versado na técnica será capaz de escolher um chip adequado.

[0052] Em geral, o dispositivo de inspeção não estará em comunicação de GPS se não estiver preso com cabo e estiver passando através de uma tubulação abaixo da terra, então, o mesmo é fornecido com

15 um relógio. Certamente, o mesmo poderia ser fornecido com um receptor de GPS, alternativamente, se a tubulação particular for uma em que os sinais de tempo de GSP podem ser recebidos confiavelmente. Um dispositivo de inspeção preso com cabo pode usar um sinal de tempo de GPS se o cabo conectá-lo a uma antena acima da terra.

20 [0053] Na modalidade em que tanto o gerador de pulso quanto o receptor são montados no dispositivo, precisa existir somente um meio de medição de tempo, na medida em que o gerador de pulso e o receptor puderem compartilhá-lo. Tipicamente, esse será um relógio, na medida em que o dispositivo de inspeção tipicamente não estará em comunicação de

25 GPS quando passando através de uma tubulação enterrada.

[0054] Usualmente, todos os receptores ou geradores de pulso localizados na tubulação ficarão situados onde eles fiquem em comunicação de GPS, então, seu meio de medição de tempo pode ser todos os sinais de GPS que estão automaticamente sincronizados um com o outro. Geradores

30 de pulso e receptores no dispositivo compartilharão tipicamente o mesmo

relógio, então, nenhuma sincronização é necessária. Se um do gerador de pulso e do receptor estiver na tubulação e o outro estiver no dispositivo, é preferencial (embora não absolutamente necessário) sincronizar seu meio de medição de tempo. Se tanto a estação na tubulação quanto a estação no
5 dispositivo usarem relógios, elas ficam, de preferência, sincronizadas uma com a outra. Se uma usar um relógio e a outra usar um sinal de GPS, o relógio fica sincronizado, de preferência, ao sinal de tempo de GPS. Entretanto, a sincronização não precisa ser feita, contanto que exista pouco ou nenhum desvio de relógio enquanto a inspeção de tubo estiver sendo
10 contida fora. Se o mesmo for feito, pode ser feito antes ou após a inspeção de tubo, e os dados a partir da inspeção podem ser corrigidos após a inspeção para refletir a sincronização.

[0055] Após o dispositivo de inspeção ter passado através do comprimento da tubulação a ser examinada, o mesmo é recuperado e a
15 gravação dos pulsos recebidos é examinada. Para cada pulso que é examinado, o local do dispositivo no tempo em que o ponto de referência para aquele pulso foi recebido pelo mesmo é notado e calculado. O tempo em que o ponto de referência para aquele pulso foi emitido por meio do gerador de pulso também é notado.

20 [0056] O tempo obtido para um pulso percorrer a partir do gerador de pulso para o receptor é encontrado para variar com a condição da parede de tubulação no local onde o dispositivo móvel está localizado no tempo em que recebe (ou envia) o pulso.

[0057] Então, diversas análises diferentes podem ser
25 desempenhadas. Em uma análise, o tempo de percurso do pulso a partir de sua emissão por meio do gerador de pulso para o local onde é recebido é obtido, então, por meio de subtração simples. Essa informação oferece a distância percorrida por meio do pulso e do tempo obtido para percorrer aquela distância. A partir disso, a velocidade do pulso (distância dividida por
30 tempo) é determinada. Fazendo esse cálculo para inúmeros locais, uma

velocidade média dos pulsos pode ser determinada. É encontrado que, na medida em que o dispositivo passa através da tubulação, a velocidade dos pulsos de som varia somente ligeiramente a partir da média quando o dispositivo está em alguns locais na tubulação, mas que em outros locais está

5 substancialmente acima ou abaixo da média, algumas vezes por tanto quanto 50%. Um curso (movimento distante da média) em alguns locais está na direção de velocidade aumentada e em outros está na direção de velocidade diminuída. Foi encontrado que tais variações a partir da velocidade média (se positiva ou negativa) são indicativas de condições locais na parede da

10 tubulação nas adjacências do local onde o dispositivo foi localizado no tempo em que o pulso foi recebido por meio do dispositivo (se o dispositivo tiver o receptor ou tiver tanto o receptor quanto o gerador de pulso), ou enviado por meio do dispositivo (se o dispositivo tiver o gerador de pulso e o receptor estiver na tubulação). Condições locais que diferem da média são usualmente

15 indicativas de problemas na resistência ou espessura da parede de tubulação. Desse modo, o exame das gravações a partir da recepção de uma série de pulsos oferece uma gravação de áreas ao longo da tubulação onde a parede está provavelmente com problemas, por exemplo, por adelgaçamento ou danos. Além disso, a extensão da variação a partir da média (em termos

20 de porcentagem a partir da média) pode oferecer frequentemente uma aproximação de quão sérios são os problemas.

[0058] Tendo relação com a velocidade de movimento do dispositivo na tubulação, os pulsos podem ser gerados em um espaçamento suficiente para localizar as áreas de adelgaçamento ou degradação de forma

25 muito precisa. Certamente, os locais de adelgaçamento ou degradação têm em teste situações sendo encontradas para uma exatidão de ± 1 m ao longo do comprimento da tubulação. Com a finalidade de obter exatidão alta, o sinal recebido no receptor deve ser submetido à amostragem a uma taxa alta, e os dados a partir de tal amostragem armazenada para que o início (ou outro

30 ponto de referência escolhido) de cada pulso possa ser determinado de forma

precisa. Por exemplo, é preferencial usar uma taxa de amostragem de 40.000 amostras por segundo. Taxas de amostragem mais altas, por exemplo, 96.000 amostras por segundo, podem ser usadas se desejado. Evidentemente, o armazenamento de dados associados com o receptor deve
5 ser suficiente para armazenar a quantidade total de amostras esperadas na taxa escolhida para o período em que o dispositivo móvel está inspecionando o tubo.

[0059] Em outro tipo de análise, não é necessário calcular a velocidade média. É encontrado que existem alterações súbitas em
10 velocidade de pulso na medida em que o dispositivo móvel se move através de um local onde existe adelgaçamento ou existem danos da parede de tubo. Portanto, muita informação útil pode ser obtida analisando os dados para determinar a taxa de alteração de velocidade com tempo na medida em que o dispositivo passa por locais diferentes.

[0060] A taxa de amostragem alta permite a detecção de ambas
15 as alterações muito pequenas em velocidade com tempo, e variações pequenas da velocidade a partir da média. Na modalidade em que tanto o gerador de pulso quanto o receptor estão no dispositivo móvel, a distância entre eles é fixa. Portanto, qualquer variação no tempo obtido para o pulso
20 percorrer a partir do gerador para o receptor ocorre devido à alteração na velocidade de pulso através do fluido. Na medida em que o pulso é submetido à amostragem a uma taxa muito alta (usualmente 40.000 amostras por segundo ou mais), alterações muito pequenas em velocidade podem ser vistas.

[0061] Onde um do gerador de pulso e do receptor está no
25 dispositivo móvel e o outro está na tubulação, quaisquer alterações em velocidade do dispositivo móvel na tubulação devem ser levadas em consideração e corrigidas, se for desejado usar a taxa de amostragem para determinar a velocidade de pulso ou a taxa de alteração de velocidade de
30 pulso.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES DOS DESENHOS

[0062] A Figura 1 mostra uma modalidade com um dispositivo em forma de esfera não preso com cabo usado como o dispositivo de inspeção. Na Figura 1, 10 indica uma tubulação tendo uma parede 11 de, por exemplo, ferro dúctil. A tubulação é enterrada abaixo do nível da terra 1. A tubulação é preenchida com água 12 a uma pressão de aproximadamente 4,48 bar (65 psig) fluindo na direção 16 a uma velocidade de aproximadamente 0,3 km/hora. A tubulação é, por exemplo, de 0,3 m em diâmetro, embora a invenção seja utilizável com tubulações tanto maiores quanto menores em diâmetro do que isso, e também com tubulações que estão em pressão ambiente e somente parcialmente preenchidas com líquido. A mesma também pode ser usada com tubulação contendo gás, por exemplo, uma tubulação de gás natural pressurizado.

[0063] Três hidrantes, em geral indicados como 13, 14 e 15 fornecem acesso à tubulação 11. As porções superiores dos hidrantes 13 e 15 não são mostradas, mas seus revestimentos externos foram removidos e uma válvula foi temporariamente instalada para permitir a entrada e a saída do dispositivo móvel da invenção. Isso é feito de uma maneira conhecida. O hidrante 14 está em sua condição normal. O mesmo tem um revestimento externo 25, uma válvula 26 e um atuador de válvula 27 que é uma haste de metal que se estende fora do topo do hidrante. Linhas irregulares 17 indicam uma interrupção no desenho que representa uma distância considerável (por exemplo, cerca de 100 m) entre as porções ilustradas da tubulação.

[0064] A tubulação é atacada por pites de corrosão externamente em 31 e foi afinada por meio de corrosão em 32. Essas condições não são conhecidas para o operador de tubulação.

[0065] Uma estação de gerador de pulso é mostrada, em geral, em 100, e é associada com o hidrante 13. A estação 100 compreende um gerador de pulso 101 afixado à parede 11 da tubulação 10. O gerador de

pulso 101 é conectado por meio do cabo 102 ao computador 104. O gerador de pulso gera pulsos de uma série de quatro sub-pulsos pré-configurados na faixa de frequência de 500 a 900 Hz. Por exemplo, os sub-pulsos podem ser 500 Hz, 800 Hz, 650 Hz e 900 Hz. Cada sub-pulso é gerado para 5 m, então
5 o comprimento total do pulso é de 20 m. O computador 104 recebe um sinal de tempo a partir de um sistema de satélite GPS (não mostrado) usando antena 105. O computador 104 é programado para ocasionar um pulso (dos quatro sub-pulsos mencionados acima) a ser gerado por meio do gerador de pulso 101 a cada 2,0 segundos. O tempo de partida dos pulsos é pode ser
10 repetido dentro de +/- 50 microssegundos. O computador 104 associou o armazenamento de dados 103 para gravar cada pulso e o tempo em que o mesmo foi gerado.

[0066] A segunda estação de gerador de pulso opcional 200 é associada com o hidrante 14. Nessa estação, o gerador de pulso 201 não é
15 afixado à parede de tubulação, mas simplesmente à haste de atuador de metal 27 para a válvula de metal 26 que controla o fluxo de saída de água no hidrante 15. O computador 204 recebe um sinal de tempo a partir de um sistema de satélite GPS usando antena 205. O computador 204 é programado para fazer com que o gerador de pulso 201 gere um pulso único
20 de 20 m a 1.000 Hz a cada 2,0 segundos, com cada tal pulso sendo gerado a 1 segundo após o tempo em que um pulso deve ser gerado por meio do gerador de pulso 101. Desse modo, o gerador de pulso 101 poderia ser configurado para gerar pulsos a 1, 3, 5, etc. segundos após cada minuto começar, e o gerador de pulso 201 poderia ser configurado para gerar pulsos
25 a 2, 4, 6, etc. segundos após o minuto começar. O computador 204 também compreende armazenamento de dados 203 que armazena uma gravação de cada pulso e o tempo em que o mesmo foi gerado.

[0067] Em geral, a estação de gerador de pulso 200 (e possíveis estações de gerador de pulso similares adicionais) é usada quando o
30 comprimento de tubulação a ser inspecionado é mais do que centenas de

metros ou tem dobramentos.

[0068] Na tubulação, um dispositivo de inspeção em forma de esfera 301 do tipo mostrado no pedido publicado de Paulson WO2006/081671 A1 está rolando ao longo do fundo da parede 11, 5 impulsionado pela água fluindo através da tubulação. O dispositivo foi introduzindo no interior da tubulação 10 através do hidrante 13, conforme discutido no pedido publicado de Paulson WO2006/081671 A1. O mesmo contém um receptor 302.

[0069] O receptor 302 recebe som de frequência baixa na faixa 10 de 200 a 1.200 Hz e o grava em armazenamento de dados 303 no dispositivo de inspeção 301. De forma adequada, o armazenamento de dados 303 é um cartão de memória SD removível. O dispositivo de inspeção 301 também contém um dispositivo de medição de distância 304 que grava a distância percorrida por meio do dispositivo de inspeção 301 ao longo da tubulação e 15 grava em tempo real a distância percorrida no armazenamento de dados 303. De forma adequada, o dispositivo de medição de distância é um conjunto de três acelerômetros dispostos de forma ortogonal, conforme descrito no pedido publicado de Paulson WO2006/081671 A1, que conta a quantidade de revoluções do dispositivo de inspeção em forma de esfera na medida em que 20 o mesmo rola ao longo do fundo da tubulação. O dispositivo de inspeção também contém um relógio 305 que grava continuamente uma indicação de tempo no armazenamento de dados 303 e uma fonte de energia 306 para elementos de energia 302, 303, 304 e 305. O dispositivo de inspeção 301 rola ao longo do fundo da tubulação até que atinja um local pré-determinado onde 25 o mesmo deve ser recuperado. Na Figura 1, esse é o hidrante 15. Um dispositivo de recuperação, mostrado esquematicamente como 20, está pronto para recuperar o dispositivo de inspeção. Dispositivos de recuperação adequados são descritos no pedido publicado de Paulson WO2006/081671 A1.

30 [0070] Uma vez que o dispositivo de inspeção 301 foi

recuperado a partir da tubulação, os dados em armazenamento de dados 303 são extraídos a partir do mesmo e a velocidade média do som é calculada para cada um dos locais em que um pulso foi recebido por meio do receptor 302. É conveniente exibir os dados em um gráfico, para explicação fácil.

5 [0071] Tal gráfico é mostrado na Figura 2. No gráfico, a velocidade média de som na água 12 da tubulação da Figura 1 é mostrada por meio da linha 1.000, que é configurada como a abscissa (linha de base horizontal) do gráfico. Em uma tubulação de água típica, essa média de figura é de cerca de 1.350 metros/segundo para uma tubulação produzida a partir de ferro dúctil, e de cerca de 675 metros/segundo em uma tubulação produzida a partir de plástico. A distância vertical acima ou abaixo dessa linha representa variações a partir da velocidade média de som na tubulação, conforme as porcentagens da média. A distância horizontal ao longo do gráfico representa a distância que o dispositivo percorreu a partir do hidrante 13. A linha 1.001 representa a plotagem da velocidade de som observada a partir do gerador de pulso 101 e a linha 1.002 representa a velocidade de som observada a partir do gerador de pulso 201, expressa conforme as porcentagens da velocidade média, para os diversos locais onde o receptor recebeu os pulsos. A título de comodidade, a escala horizontal corresponde às distâncias na Figura 1. Esse gráfico é preparado usando os dados extraídos a partir do armazenamento de dados 303 após o dispositivo de inspeção ter atravessado a distância completa entre os hidrantes 13 e 15, ter sido recuperado no hidrante 15 e ter tido seus dados extraídos.

25 [0072] Na maioria dos locais, as linhas 1.001 e 1.002 estão muito próximas à média. Entretanto, em locais próximos 31 e 32, existem desvios consideráveis (chamados neste documento de "cursos") a partir da média, na ordem de mais do que 10% da média. Por exemplo, a velocidade de som observada como plotada na linha 1.001 se desvia a partir da média em 1.003 diminuindo a velocidade e em 1.004 aumentando a velocidade. De forma similar, a velocidade de som observada como plotada na linha 1.002 se

30

desvia a partir da média em 1.005 diminuindo a velocidade e em 1.006 aumentando a velocidade.

[0073] Os locais onde o dispositivo móvel está localizado quando a velocidade observada é significativamente mais baixa ou mais alta do que a média, como em 1.003, 1.004, 1.005 e 1.006 indicam partes da tubulação onde problemas são prováveis. Escavação ou teste adicional deve estar contido nesses locais. Quando a Figura 2 é comparada com a Figura 1, é encontrado que os cursos 1.003 e 1.005 estão associados com o adelgaçamento em 32 na Figura 1, e os cursos em 1.004 e 1.006 estão associados com a região atacada por pites de corrosão em 31.

[0074] Não é necessário calcular a velocidade média, ou exibir os resultados conforme mostrado na Figura 2 como desvios a partir da velocidade média. Alternativamente, pode-se calcular para cada local a taxa de alteração da velocidade a partir da velocidade no local anterior mais próximo para o qual uma medição está disponível (tipicamente 0,5 a 1 m distante). Uma tabela ou plotagem da taxa de alteração de velocidade contra locais também mostra os mesmos cursos, e pode ser preferencial como um meio de exibir os dados.

[0075] A Figura 3 descreve uma modalidade adicional. Na Figura 3, os mesmos números como na Figura 1 são usados onde elementos semelhantes são conhecidos. Esses elementos não serão descritos adicionalmente.

[0076] Na Figura 3, o dispositivo de inspeção móvel é um dispositivo de inspeção preso com cabo 351 afixado a um cabo 352. O mesmo é implantado por meio de um pára-quedas 360 que faz com que o mesmo se mova na direção 16 de fluxo de fluido, para o limite do cabo 352. O cabo 352 passa através de um encaixe estanque a líquido adequado 361 que é temporariamente afixado ao hidrante 13, então, fora do hidrante 13 para um tambor 353. A posição do dispositivo de inspeção 351 é controlada enrolando ou desenrolando o cabo, e o local do dispositivo de inspeção 351 é

determinado notando a quantidade de revoluções do tambor 353 (como por meio de medidor de leitura 354, que pode ser feito eletronicamente, com o resultado sendo armazenado no armazenamento de dados 303), calculando a partir disso a quantidade de metros de cabo gasta e subtraindo o cabo que se
5 estende a partir do tambor para a tubulação. Na configuração mostrada, o cabo contém um cabo adequado 355 para conectar o receptor ao armazenamento de dados 303, que fica localizado fora da tubulação. Além disso, nenhum relógio está presente. Alternativamente, existe uma antena 357 e aparelhos eletrônicos associados para obter um sinal de tempo de GPS
10 e para gravá-lo continuamente no armazenamento de dados 303. A modalidade mostrada tem um armazenamento de dados 303 que pode ser removido e obtido para um computador remoto 304 para o processamento dos dados coletados. De forma alternativa, se desejado, o computador pode ser conectado diretamente ao armazenamento de dados, ou o
15 armazenamento de dados pode ser parte do computador, conforme mostrado na modalidade da Figura 1.

[0077] Na modalidade ilustrada, uma fonte de energia 306 está localizada fora da tubulação. A energia para o receptor 302 é suprida, por exemplo, por meio de um cabo 356 passando através do cabo a partir da
20 fonte de energia 306 para o receptor 302. Em muitas situações, entretanto, pode ser mais simples e mais barato fornecer uma fonte de energia separada para o receptor, estando uma bateria 367 no dispositivo móvel de inspeção.

[0078] Na modalidade da Figura 3, somente uma estação de gerador de pulso na tubulação é mostrada, em 200 no hidrante 14, mas mais
25 do que uma pode ser usada se desejado. Por exemplo, uma estação de gerador de pulso poderia ser colocada no hidrante 13, ou afixada à tubulação em qualquer outro lugar onde a tubulação esteja facilmente acessível.

[0079] Um gerador de pulso também podem ser colocado no cabo, conforme mostrado em 380, distante a uma distância conhecida a partir
30 do receptor 302. De forma alternativa, um segundo receptor pode ser

colocado em 380. Se um gerador de pulso for colocado em 380, o mesmo funciona de forma similar à estação de gerador de pulso 100 na Figura 1. Se, alternativamente, um receptor for colocado em 380, o mesmo funciona de forma similar ao receptor 302, e seus dados podem ser coletados de forma conveniente no armazenamento de dados 303.

[0080] Os dados armazenados no armazenamento de dados 303 são tratados da mesma maneira que os dados coletados na modalidade da Figura 1. Se 380 for um receptor, os dados a partir do receptor 380 também são armazenados no armazenamento de dados 303, e são usados de uma maneira análoga aos dados a partir do receptor 302. Se 380 for uma estação, os tempos de seus pulsos são armazenados no armazenamento de dados 303.

[0081] A Figura 4 descreve uma modalidade adicional. Na Figura 4, os mesmos números que na Figura 1 são usados onde elementos semelhantes são mostrados. Esses elementos não serão descritos adicionalmente.

[0082] Na Figura 4, a tubulação 400 é uma tubulação de óleo, que não tem nenhum hidrante. A mesma é preenchida com óleo 402. A tubulação tem estações de operação limpa-tubos (não mostradas) para entrada e saída de pigs de tubulação. A mesma também tem portas de inspeção, uma das quais é mostrada em 401. A estação de gerador de pulso 100 descrita na Figura 1 fica organizada na porta de inspeção 401, com o gerador de pulso 101 afixado ao exterior da porta de inspeção.

[0083] O dispositivo de inspeção móvel é um pig de tubulação 450, que tem vedações convencionais 451 que entram em contato ou quase em contato com a parede 11 da tubulação para que o pig seja empurrado ao longo por meio do fluxo do óleo. O pig contém receptor 302, armazenamento de dados 303, relógio 305, bateria 367 e cabeamento adequado 307 para os mesmos. O armazenamento 303, e o relógio 305 funcionam como na modalidade da Figura 1, exceto os dados na distância percorrida que são

recebidos por meio do receptor através do armazenamento de dados 303
procedem de um dispositivo de medição de distância, tal como hodômetro
454 e a energia para operá-los procede da bateria 367. O pig emprega, de
preferência, rodas 452 para auxiliar no movimento do pig através do tubo de
5 forma mais silenciosa quanto possível. Opcionalmente, essas rodas podem
ser motorizadas, para que o pig possa se mover independentemente do fluxo
de fluido. Um motor 453 é mostrado em forma tracejada para suprir com
energia as rodas. O motor pode ser alimentado de forma conveniente por
meio da bateria 367. As conexões de cabeamento necessárias não são
10 mostradas, para simplificar o desenho. Se o pig for motorizado, o mesmo não
necessita de vedações 451.

[0084] Se desejado, o pig pode conter uma estação de gerador
de pulso 500. Isso compreende o gerador de pulso 501 que emite pulsos em
intervalos cronometrados por meio do relógio 305 e que é alimentado por
15 meio da fonte de energia 306, que tem que tem energia suficiente para suprir
o mesmo bem como os outros componentes. O cabeamento 507 conecta o
gerador de pulso com o relógio 305, o armazenamento de dados 303 e a
fonte de energia 306. O gerador de pulso 501 deve ficar separado pelo
menos a um diâmetro de tubo a partir do receptor 302, e, de preferência, tão
20 distante a partir do receptor 302 quanto possível tendo relação com as
restrições no comprimento de pig impostas por meio do tamanho das
estações de operação limpa-tubos na tubulação.

[0085] O gerador de pulso 501 emite pulsos conforme descrito
em relação ao gerador de pulso 201 na Figura 1, a uma frequência diferente
25 daquelas do gerador de pulso 101 para que os pulsos a partir dos geradores
de pulso 101 e 501 possam ser distinguidos um do outro. Os pulsos são
gravados no armazenamento de dados 303 apenas como os pulsos a partir
dos geradores de pulso 101 e 201 são gravados na modalidade da Figura 1.
A indicação de tempo a partir do relógio 305 também é armazenada no
30 armazenamento de dados 303. Os dados armazenados no armazenamento

de dados 303 são tratados da mesma maneira que os dados coletados na modalidade da Figura 1.

[0086] Se desejado, a estação de gerador de pulso 100 e o gerador de pulso 101 podem ser emitidos, e o gerador de pulso 501 pode ser o único gerador de pulso presente.

[0087] Em uma modalidade alternativa adicional, utilizável quando a arquitetura de estação de operação limpa-tubos permite, o pig 450 tem uma lança 480, sobre a qual é montada a estação de gerador de pulso 500A com um gerador de pulso 501A. A lança 480 contém cabeamento 507A, que conecta o gerador de pulso com o relógio 305, o armazenamento de dados 303 e a fonte de energia 306. Quando a estação de gerador de pulso 500A e seu gerador de pulso associado 501A estão presentes, a estação 500 e o gerador de pulso 501 são omitidos. A lança 480, a estação 500A, o gerador de pulso 501A e o cabeamento 407A são mostrados em linhas tracejadas na Figura 4, para indicar que eles são uma variação opcional. O comprimento extra da lança permite que o gerador de pulso 501A esteja a uma distância mais longa a partir do receptor 302 do que é possível com o gerador de pulso 501.

[0088] Se o receptor 302 e cada gerador de pulso 501 ou 501A estiverem presentes, o armazenamento de dados 303 pode estar associado, se desejado, com um computador 304 que processa diretamente os dados recebidos. A velocidade dos pulsos passando entre a estação 501 ou 501A e o receptor 302 é fácil de calcular, na medida em que a distância entre eles é fixa, e os únicos dados necessários para determinar a velocidade é o tempo obtido para o pulso passar a partir do gerador de pulso para o receptor.

[0089] Em uma modalidade alternativa adicional da Figura 4, não existe nenhum gerador de pulso 501 ou 501A ou lança 480, mas, alternativamente, existe um segundo receptor 502 no pig. O receptor 502 recebe pulsos a partir do gerador de pulso 101, e envia dados como para os pulsos que o mesmo recebe para formar uma indicação no armazenamento

de dados 303 através de cabeamento 507. A distância entre os receptores 302 e 502 é conhecida, na medida em que ambos estão em posições fixas no mesmo pig. A análise da indicação de dados a partir do receptor 502 oferece uma verificação sobre os dados coletados no receptor 302, conduzindo, 5 desse modo, à certeza maior nos locais onde os problemas de parede foram encontrados.

[0090] A Figura 5 apresenta resultados a partir do Exemplo 3, e será descrita abaixo no contexto daquele Exemplo.

EXEMPLOS

10 Exemplo 1

[0091] Os comprimentos de tubo foram obtidos para o propósito de preparar uma tubulação de teste. Esses incluíram dois comprimentos não danificados, novos de 20 pés (6,09 m) de tubo de ferro dúctil tendo um diâmetro interno de 300 mm e uma espessura de parede nominal de 0,45 15 polegadas (11,43 mm), duas seções de 20 pés (6,09 m) de 300 mm de diâmetro interno de tubo de ferro dúctil que foi recuperado a partir de uma operação de substituição de tubo em um sistema de água municipal, e um tubo de PVC de 20 pés (6,09 m) de 300 mm de diâmetro interior e uma espessura de parede nominal de 0,406 polegadas (10,31 mm).

20 [0092] Os dois comprimentos de tubo danificados foram examinados visualmente e por ultra-som. Sua espessura de parede nominal original não foi conhecida. Eles foram encontrados por terem sido atacados por pites de corrosão e estarem corroídos nos lugares. Uma grade foi movida sobre cada comprimento de tubo e todos os danos foram fotografados e 25 quantificados medindo as áreas e a profundidade de cada área danificada visualmente perceptível.

[0093] A tubulação de teste foi montada a partir dos comprimentos de tubo descritos acima. A ordem de montagem foi os dois novos comprimentos de tubo, um dos comprimentos danificados, o 30 comprimento de plástico e, então, o segundo comprimento danificado. Em

cada extremidade da tubulação de teste, um joelho de ferro dúctil de 90 graus foi colocado, virado para que a extremidade de abertura estivesse voltada para cima. Comprimentos adjacentes foram unidos com conexões estanques a água adequadas. Isso permitiu que a água fosse retida na tubulação de teste, quando a tubulação ficou aproximadamente horizontal.

[0094] A tubulação de teste foi montada em um suporte de teste de madeira. A parte entre os dois joelhos ficou aproximadamente horizontal, com variações conforme notado abaixo. O tubo foi preenchido com água de torneira a partir do sistema de água municipal de Calgary, Alberta, para uma parte de nível a meio caminho acima dos joelhos. Um gerador de pulso construído pela Pure Technologies Ltd. foi afixado ao exterior de num dos joelhos sendo amarrado com correia no lugar. Esse gerador de pulso gerado a 2 m de pulso de energia acústica a 400 Hz, repetiu a cada 2,0 segundos, para dez repetições, quando o operador ativou o mesmo. O gerador de pulso foi conectado a um computador (que serviu como um armazenamento de dados e que também armazenou um sinal de tempo de GPS). Desse modo, o tempo preciso em que cada pulso foi enviado pôde ser determinado examinando os dados armazenados no computador.

[0095] Um hidrofone, Modelo: VHLF (fabricado pela VEMCO Division AMIRIX System Inc.) foi colocado em um carrinho com rodas de alumínio móvel ao longo do fundo do tubo. O carrinho foi desacoplado mecanicamente do hidrofone. O hidrofone foi conectado por meio de cabos adequados ao computador para que os dados a partir do hidrofone também fossem armazenados no computador. O computador submeteu à amostragem a saída de hidrofone 96.000 vezes em um segundo. Foi possível, desse modo, por meio de exame dos dados a partir do gerador de pulso, que o hidrofone e o sinal de GPS no armazenamento de dados de computador determinassem exatamente quando um pulso foi enviado por meio do gerador de pulso e quando foi recebido no hidrofone.

[0096] O carrinho com o hidrofone foi puxado através do tubo de

teste geralmente horizontal por meio de uma coluna. Sua posição no tubo foi determinada notando o comprimento da coluna puxada a partir do tubo. Isso permitiu que a distância a partir do gerador de pulso para o hidrofone fosse calculada.

5 [0097] Pulsos foram enviados a partir do gerador de pulso para o hidrofone com o hidrofone em diversas distâncias conhecidas a partir do gerador de pulso. Dez pulsos foram enviados com o hidrofone em cada posição. O tempo de envio e o tempo de cada pulso foram gravados. A partir dessa informação, o tempo de percurso de cada pulso foi calculado. Para
10 cada local, dados de 10 pulsos foram gravados e a média do tempo de percurso foi calculada. Para quase todos os locais, a variação em tempo de percurso não excedeu +/- 25 microssegundos. A partir da média de tempo de percurso e da distância entre o local e o gerador de pulso, quando o hidrofone estava naquele local, a velocidade de percurso foi determinada.

15 [0098] As médias das velocidades calculadas para todos os locais durante cada execução de teste foram calculadas para oferecer uma velocidade média de som na tubulação de teste.

 [0099] Quando as cinco seções de tubo ficaram horizontais, bolsas de ar ocorreram em algumas das seções. A presença de bolsas de ar
20 foi verificada por meio de uma câmera submersa. As execuções de teste foram feitas com tais bolsas de ar presentes, e as execuções de teste adicionais foram feitas com o tubo inclinado a um ângulo de 2 a 3 graus a partir da horizontal, o que permitiu que o ar escapasse para que o tubo fosse preenchido completamente com água.

25 [0100] Inicialmente, resultados anômalos foram obtidos os quais indicaram velocidades de som que foram diferentes a partir da média quando o hidrofone estava em diversos locais nos comprimentos de tubo de ferro dúctil novos. Isso foi inesperado, então, o aparelho foi desmontado e os dois comprimentos de tubo de ferro novos foram examinados por ultra-som. Foi
30 encontrado que os mesmos se desviaram da espessura de parede nominal

nos lugares onde os resultados foram diferentes a partir da média. Em um local, o tubo de ferro novo teve uma espessura de parede de 0,361 polegadas (9,17 mm) e, em outro, teve uma espessura de parede de 0,558 polegadas (14,17 mm). Portanto, uma grade foi preparada mostrando a espessura de
5 parede dos comprimentos de tubo não danificados, apenas como foi feito para os comprimentos danificados.

[0101] Foi encontrado que a velocidade dos pulsos entre o gerador de pulso e o hidrofone, quando o gerador de pulso foi afixado ao tubo confiavelmente estimado, se o tubo foi ou não foi danificado ou diferente,
10 forma a espessura média no local onde o hidrofone estava quando o sinal foi recebido.

[0102] Também foi encontrado que a presença de bolsas de ar ocasionou uma alteração grande em velocidade. Isso foi esperado, na media em que a velocidade de som depende do meio através do qual o som
15 percorre. Na configuração de teste, o resultado poderia ter sido lido de forma errada como uma alteração em velocidade devido a uma variação em espessura de parede, não se conhecendo que as bolsas de ar estavam presentes por causa das imagens a partir da câmera submersa. Em uma operação de campo em que a água está fluindo, a alteração em velocidade a
20 partir das bolsas de ar pode ser distinguida facilmente por causa do ruído característico associado com uma bolsa de ar.

[0103] Quando o hidrofone estava no tubo de plástico, a velocidade caiu para uma velocidade média pelo comprimento de tubo de aproximadamente 500 m/s conforme comparado a uma velocidade média no
25 tubo de metal não danificado de aproximadamente 1.300 m/s. Além disso, quando o hidrofone estava localizado em um tubo de metal, com o tubo de plástico na coluna de tubo entre o mesmo e o gerador de pulso, a velocidade gravada foi mais baixa do que teria sido diferentemente esperado. Isso mostra que o método da invenção pode localizar comprimentos de tubo de
30 um material diferente do que o restante da tubulação. Tal informação pode

ser de importância prática em tubulações reais, na medida em que pode mostrar que uma substituição não-documentada de uma seção de tubo ocorreu.

Exemplo 2

5 [0104] Em uma série adicional de execuções de teste, o gerador de pulso foi removido do joelho e foi colocado alternativamente no carrinho, em um espaçamento de 1,0 m a partir do hidrofone, e foi conectado ao computador por meio de cabos adequados. Isso fixou a distância conhecida entre o hidrofone e o gerador de pulso em 1,0 m, independente do local do
10 hidrofone dentro da tubulação de teste. As execuções de teste tanto com o hidrofone quanto com o gerador de pulso montados no carrinho com rodas ofereceu resultados similares para aqueles em que o gerador de pulso foi preso com correia ao joelho.

Exemplo 3

15 [0105] O acesso para propósitos de teste foi obtido para uma tubulação de distribuição de água municipal na Cidade de Calgary (City of Calgary), Canadá. A tubulação era uma que devia ser removida e substituída como parte da modernização de infraestrutura normal da municipalidade. Foi uma tubulação de ferro dúctil poli-ensacada de diâmetro interno de 300 mm
20 de 30 anos. A condição do tubo não foi conhecida. A tubulação ainda foi preenchida com água e conectada a sistemas municipais de fornecimento de água normal na pressão de água municipal normal de 60 psig. (4,137 bar).

[0106] Um gerador de pulso projetado para emitir pulsos de 20 m de extensão a cada 3 segundos a uma frequência de 500 Hz foi afixado a
25 um atuador de válvula que foi conectado à tubulação. O gerador de pulso foi conectado com um sinal de tempo de GPS e um armazenamento de dados para formar uma estação de acordo com a invenção.

[0107] Uma unidade de detector de esfera do tipo descrita no pedido publicado de Paulson WO2006/081671 A foi equipado com um
30 acelerômetro capaz de receber a frequência emitida por meio do gerador de

pulso, um armazenamento de dados e um relógio preciso que foi sincronizado com um sinal de tempo de GPS. O acelerômetro foi submetido à amostragem para um pulso 40.000 vezes por segundo, e armazenou as amostras em um armazenamento de dados on-board.

5 [0108] O fluxo foi induzido na tubulação abrindo outro hidrante além do comprimento da tubulação sendo testada.

 [0109] A unidade de detector de esfera foi inserida no interior da tubulação através de um hidrante e foi movida por meio do fluxo de água na tubulação para o hidrante aberto 356 m distante onde foi recuperado por meio
10 de remoção por jato da esfera do tubo usando o fluxo fora do hidrante aberto. O percurso da esfera entre os dois hidrantes incluiu passagem através de 100 m de linha que devia ser escavada e removida com parte da modernização de infraestrutura. O gerador de pulso foi afixado 30 m antes do início desse comprimento de 100 m da tubulação. Pulsos foram enviados por meio do
15 gerador de pulso e recebidos por meio do acelerômetro na unidade de detector de esfera. O local da esfera no tempo em que cada pulso foi recebido foi determinado contando as rotações de esfera, conforme discutido no pedido publicado de Paulson WO2006/081671A. Os dados de acelerômetro e os dados de tempo a partir do relógio na esfera foram
20 armazenados como indicações separadas no mesmo armazenamento de dados como os dados para calcular o local da esfera. A esfera se moveu através da tubulação a uma velocidade de aproximadamente 0,5 m/s, resultando em um pulso sendo recebido para aproximadamente cada 1,5 metros de percurso. Após a esfera ter sido recuperada, a velocidade de som
25 que percorre a partir do gerador de pulso para o local de esfera foi calculada para cada local em que a esfera recebeu um pulso. A velocidade média por todo o comprimento de 356 m também foi calculada.

 [0110] Os resultados são mostrados por meio da linha 3.000 na Figura 5, que mostra a diferença de porcentagem em cada local da
30 velocidade medida naquele local a partir da velocidade média. A escala

horizontal é a distância a partir do gerador de pulso em metros, e a escala da esquerda mostra o desvio a partir da média conforme uma porcentagem.

[0111] No cálculo do desvio a partir da média, presumiu-se que a velocidade da esfera permaneceu constante, e que toda a variação no tempo obtido para o pulso percorre a partir do gerador de pulso para o receptor surgiu a partir de uma alteração na velocidade evidente de som.

[0112] Subsequentemente, os 100 metros de tubulação foram desconectados a partir do sistema de água municipal, escavados, e substituídos com uma tubulação nova, como parte da modernização de infraestrutura da municipalidade. Na medida em que cada comprimento de tubo foi escavado, o mesmo foi fotografado e examinado. Todos os danos externos foram notados, e foram expressos como cm^2 de superfície danificada por metro de comprimento de tubo.

[0113] Os dados foram colocados na Figura 5 conforme a linha 3.500, usando a mesma escala horizontal conforme usado para a linha 3.000. A escala vertical está na direita, e mostra cm^2 de superfície danificada por metro de comprimento de tubo naquele local.

[0114] Será notado que onde a linha 3.500 não mostra nenhum dano aparente, a linha 3.000 está mais próxima da velocidade média de som por todo o teste. Vide, por exemplo, a posição 3.001 na linha 3.000 e na posição 3.501 na linha 3.050. O curso positivo 3.002 na linha 3.000 corresponde aproximadamente aos danos notados em 3.502. O curso negativo 3.003 corresponde quase exatamente com os danos 3.503. De forma similar, o curso negativo 3.004 (que sai da escala no fundo do gráfico) corresponde com os danos 3.504.

[0115] Existe um curso positivo que corresponde com o início dos danos 3.504, mas o qual altera rapidamente para o curso negativo 3.004. Não é conhecido o porquê de alguns cursos serem positivos e alguns serem negativos. Quantidades muito pequenas de danos visíveis, como em 3.510 e 3.511, não correspondem com nenhum curso.

[0116] Existe um curso em 3.040 que não corresponde aos danos observados. Entretanto, nenhum dano ou corrosão dentro do tubo foi catalogado, e esse curso pode corresponder aos danos ou ao enfraquecimento do tubo que não estava visível a partir de fora.

5 [0117] Os resultados desse teste demonstram que os cursos, positivos ou negativos, a partir da velocidade média de som tendem a indicar que, no tempo em que o curso ocorre, o dispositivo de inspeção móvel está passando através de um local na tubulação onde o tubo tem danos.

10 [0118] É compreendido que a invenção foi descrita em relação a modalidades específicas, e que outras modalidades ficarão evidentes para o indivíduo versado na técnica. Portanto, o escopo completo da invenção não deve ser limitado por meio das modalidades particulares, mas as reivindicações em anexo devem ser interpretadas para oferecerem à invenção a proteção completa a qual a mesma é intitulada.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar locais de problemas na parede de uma tubulação (10) que contém um líquido (12), compreendendo:

mover um dispositivo móvel (301, 351, 450) através da tubulação em contato com o líquido,

gerar uma série de pulsos sísmicos ou acústicos em um gerador de pulso (101, 380, 501), e

receber os pulsos sísmicos ou acústicos em um receptor,

pelo menos um do dito gerador de pulso e receptor estando no dispositivo móvel, **CARACTERIZADO** pelo fato de que

a série de pulsos acústicos ou sísmicos são gerados a) no fluido pelo gerador de pulso (380, 501); ou b) na parede pelo gerador de pulso (101) e é recebida pelo receptor (302) no dispositivo móvel, o dito receptor (302) estando em contato com o líquido na tubulação, e

o método compreende ainda:

determinar, quando o dispositivo está em cada um de uma pluralidade de locais ao longo da tubulação, pelo menos uma velocidade de percurso de tais pulsos entre o gerador de pulso e o receptor e a taxa de alteração de tal velocidade na medida em que o dispositivo passa em cada tal local,

sendo que os ditos pulsos têm pelo menos um de

(i) uma frequência de 20 Hz a 2.000 Hz, ou

(ii) um comprimento de onda de 1,5 a 75 vezes o diâmetro da tubulação em que o método é desempenhado; e

identificar o local de problema na parede baseado em pelo menos um de um desvio de velocidade de percurso determinada dos ditos pulsos a partir de uma velocidade média em um comprimento de tubulação e um desvio na taxa de mudança da dita velocidade entre tal pluralidade de locais.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO**

pelo fato de que os ditos pulsos acústicos ou sísmicos são gerados em um gerador de pulso em um local fixo em relação à parede de tubulação, e são recebidos em um receptor no dispositivo móvel ou

os ditos pulsos acústicos ou sísmicos são gerados por um gerador de pulso montado no dito dispositivo móvel, e recebidos em um receptor montado no dito dispositivo móvel.3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os ditos pulsos acústicos ou sísmicos estão em uma frequência de 20 Hz a 500 Hz e/ou têm um comprimento de onda de 5 a 15 vezes o diâmetro da tubulação em que o método é desempenhado.

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dispositivo móvel (351) é preso com cabo e é movido dentro da tubulação reduzindo ou aumentando o comprimento de seu cabo; o dispositivo móvel é um pig de tubulação (450); ou o dispositivo móvel é uma esfera não presa com cabo (301) que rola ao longo do fundo da tubulação.

5. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os pulsos acústicos ou sísmicos são gerados a uma taxa de repetição de 1 segundo a 10 segundos.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada um dos pulsos acústicos ou sísmicos perdura por um período de 2 a 50 milissegundos, ou preferencialmente por um período de 10 a 30 milissegundos.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dito gerador de pulso e receptor estão em contato sísmico ou acústico com o líquido na tubulação.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o líquido é água, água residual, esgoto, óleo, um produto de petróleo ou um produto químico líquido e/ou a tubulação é preenchida com o líquido e/ou a pressão na tubulação é

ligeiramente maior que a pressão atmosférica.

9. Aparelho para determinar locais de problemas na parede de uma tubulação que contém um líquido (12), compreendendo

um dispositivo (301, 351, 450) móvel através da tubulação em contato com o líquido

um gerador de pulso sísmico ou acústico (101, 380, 501) para gerar pulsos em uma frequência de 20 Hz a 2.000 Hz, e

um receptor (302, 502) para pulsos sísmicos ou acústicos gerados por meio do dito gerador (101, 380, 501)

pelo menos um do dito gerador de pulso (101, 380, 501) e dito receptor (302, 502) estando localizado no dispositivo (301, 351, 450),

CARACTERIZADO pelo fato de que

o gerador de pulso acústico ou sísmico (101, 380, 501) é configurado para gerar pulsos a) no dito líquido ou b) é configurado para gerar pulsos na parede e em que o receptor está localizado no dispositivo e é configurado para estar em contato com o líquido e para receber os pulsos gerados pelo gerador de pulso acústico ou sísmico (101, 380, 501), e que o aparelho ainda compreende:

meios para determinar pelo menos um de a) velocidade dos pulsos percorrendo entre o gerador de pulso (101, 380, 501) e o receptor (302, 502), e b) a taxa de mudança da velocidade de pulsos percorrendo entre o gerador de pulso (101, 380, 501) e o receptor (302, 502),

meios para determinar o local do dispositivo (301, 351, 450) na tubulação, e

meios para identificar o local de problema na parede da tubulação baseado em pelo menos um de um desvio de velocidade de percurso determinada dos ditos pulsos de uma velocidade média em um comprimento de tubulação e um desvio na taxa de mudança da dita velocidade entre tal pluralidade de locais.

10. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9,

CARACTERIZADO pelo fato de que o receptor (302, 502) está localizado no dispositivo (301, 351, 450) e o gerador de pulso é adaptado para ser afixado em relação fixa a uma parede de tubulação.

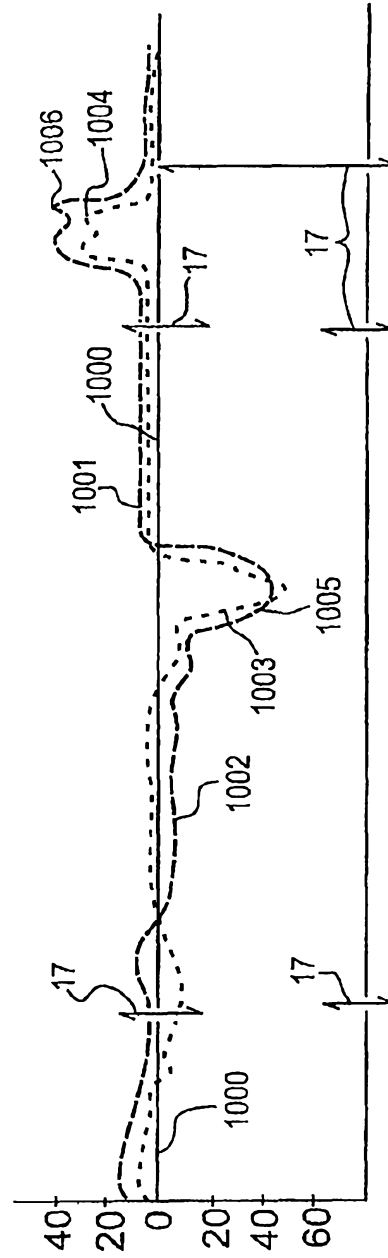
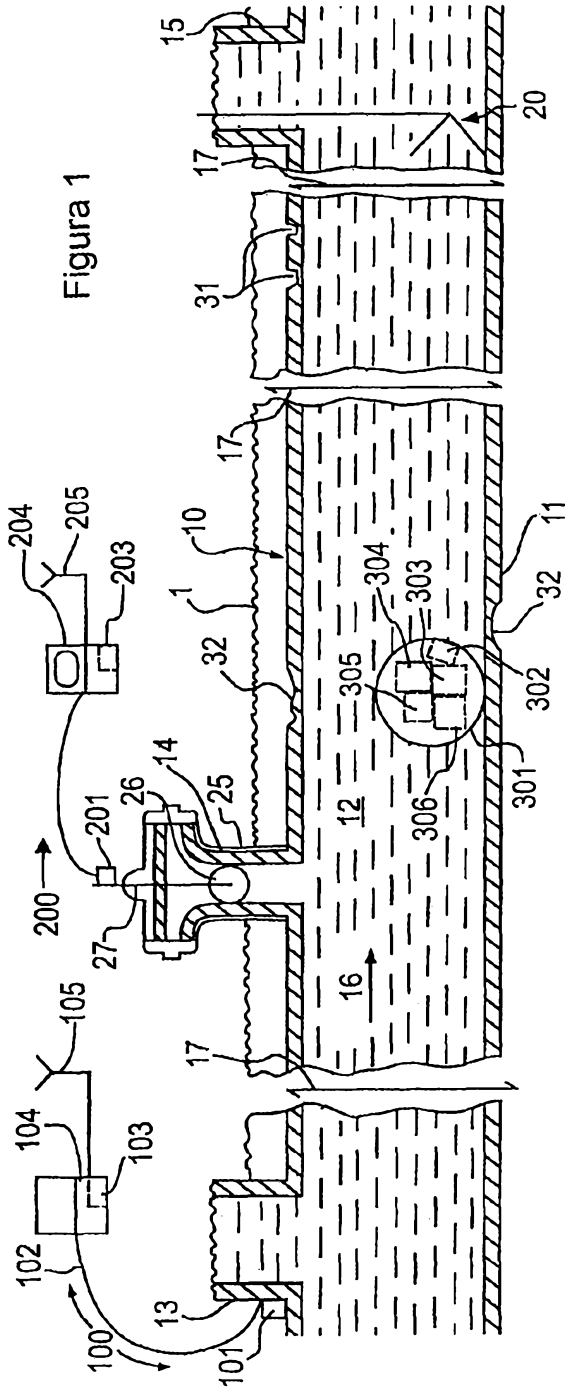
11. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9 ou 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dispositivo (301, 351, 450) é um dispositivo preso com cabo (351) que é móvel dentro da tubulação pela redução ou aumento do comprimento de seu cabo.

12. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dispositivo móvel (301, 351, 450) é um pig de tubulação (450).

13. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dito gerador de pulso (501) e o dito receptor (502) estão localizados no dispositivo móvel (450) em uma distância fixa um do outro.

14. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender meios de medição de tempo para gravar quando os pulsos são emitidos por meio do gerador de pulso e quando os pulsos são recebidos por meio do receptor.

15. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 14, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os ditos pulsos acústicos ou sísmicos estão em uma frequência de 20 Hz a 500 Hz, e/ou o líquido é água, água residual, esgoto, óleo, um produto de petróleo ou um produto químico líquido e/ou a tubulação é preenchida com o líquido e/ou a pressão na tubulação é ligeiramente maior que a pressão atmosférica.



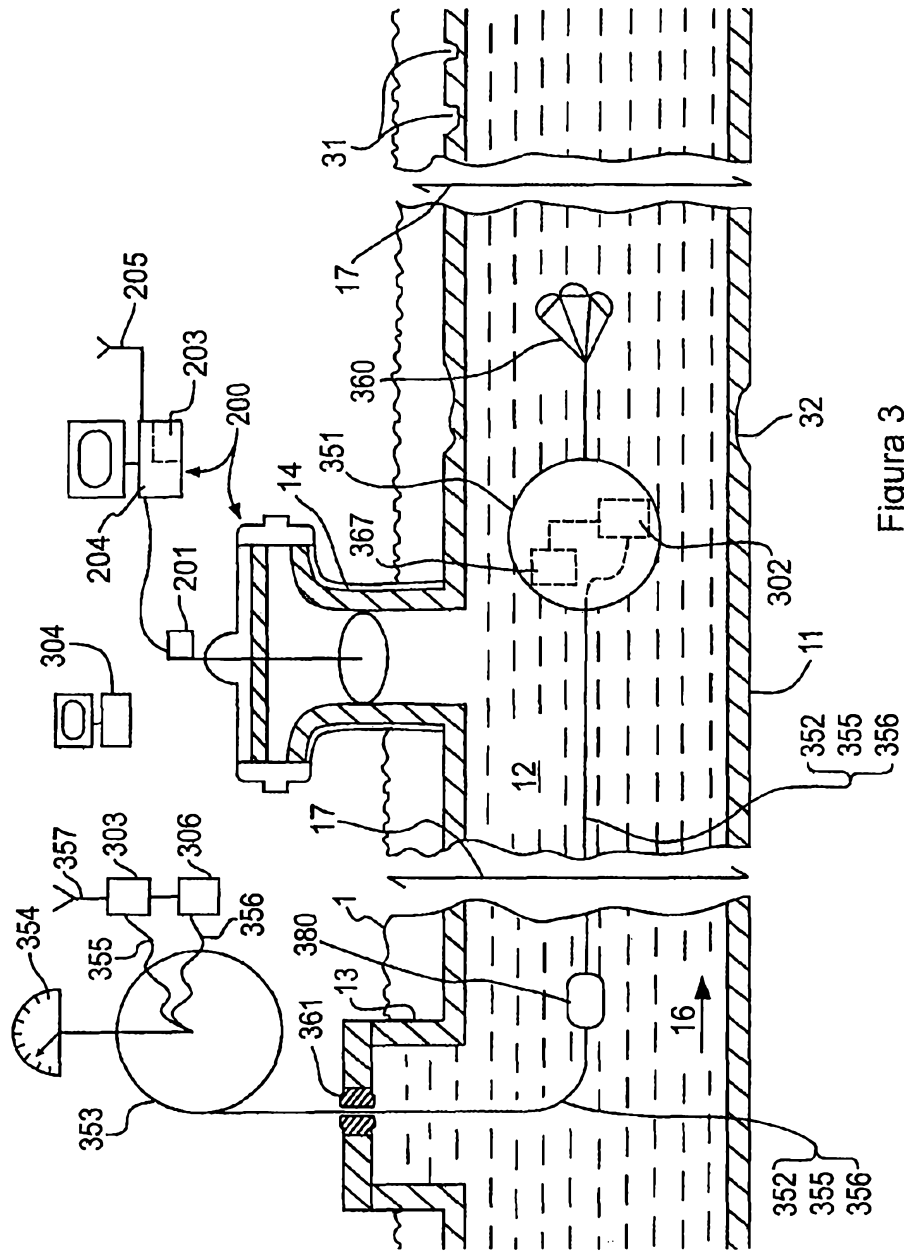


Figure 3

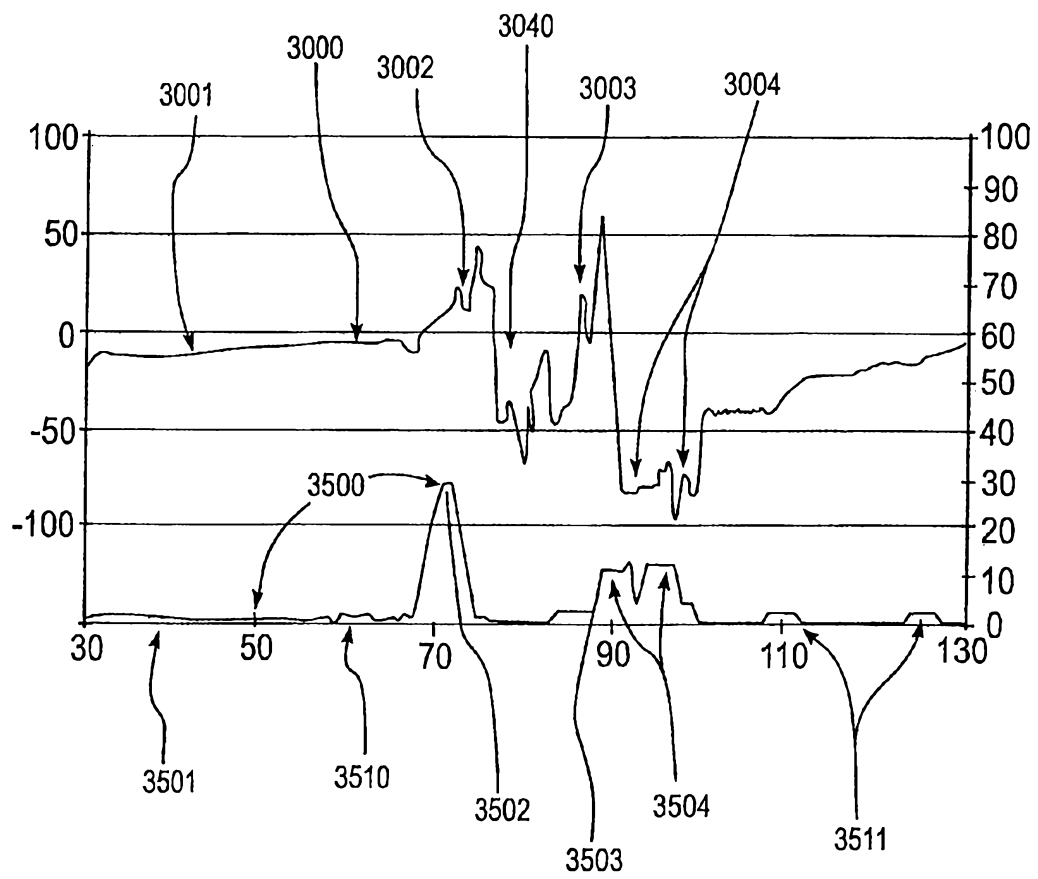


Figura 5