



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

(11) PI 0910893-9 B1



(22) Data do Depósito: 27/03/2009

(45) Data de Concessão: 14/01/2020

(54) Título: MÉTODO PARA ESTIMAR UMA FORMA DE UMA ESTRUTURA E SISTEMA PARA ESTIMAR UMA FORMA DE UMA ESTRUTURA DE FUNDO DE POÇO

(51) Int.Cl.: G01L 1/22; G01L 1/00; G06F 17/50.

(30) Prioridade Unionista: 02/04/2008 US 12/061,258.

(73) Titular(es): BAKER HUGHES INCORPORATED.

(72) Inventor(es): CARL W. STOEZ.

(86) Pedido PCT: PCT US2009038483 de 27/03/2009

(87) Publicação PCT: WO 2009/145997 de 03/12/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 04/10/2010

(57) Resumo: MÉTODO PARA ESTIMAR UMA FORMA DE UMA ESTRUTURA E SISTEMA PARA ESTIMAR UMA FORMA DE UMA ESTRUTURA DE FUNDO DE POÇO A presente invenção refere-se a um método para estimar uma forma, o método incluindo: selecionar uma estrutura compreendendo uma pluralidade de sensores de deformação (22) em comunicação inoperável com a estrutura, cada sensor de deformação (22) sendo configurado para prover uma medição de deformação; colocar a estrutura em um furo de poço (10); receber as medições de deformação a partir da pluralidade de sensores de deformação (22); criar uma grade de malha (50) tendo nós (51), cada nó (51) relacionado a uma localização de um sensor de deformação (22) e designado para um valor de deformação medido por um sensor de deformação (22); criar um nó adicional (52) para a grade de malha (50), em que o valor de deformação designado para o nó adicional (52) é derivado a partir do valor de deformação correspondendo a pelo menos um nó adjacente; e executar um método finito inverso usando uma grade de malha (50) com os valores de deformação designados para estimar a forma.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO PARA ESTIMAR UMA FORMA DE UMA ESTRUTURA E SISTEMA PARA ESTIMAR UMA FORMA DE UMA ESTRUTURA DE FUNDO DE POÇO"**.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

1. CAMPO DA INVENÇÃO

[001] Essa invenção refere-se a sistemas de detecção de danos estruturais para estruturas em um poço e, mais particularmente, a sistemas de detecção de danos estruturais utilizando fibras óticas.

2. DESCRIÇÃO DA TÉCNICA RELACIONADA

[002] Exploração e produção de hidrocarbonetos geralmente requerem um poço sendo perfurado em uma formação geológica. Várias estruturas podem ser designadas para serem inseridas no poço como parte da exploração e da produção. Exemplos dessas estruturas incluem um revestimento de poço e uma tela de areia.

[003] Devido a instabilidades na formação, tal como a compactação do reservatório, a formação pode exercer uma força em uma estrutura de fundo de poço alta o suficiente para deformar a estrutura. Se a estrutura de fundo de poço for deformada é importante conhecer a extensão da deformação. Ao ter o conhecimento da deformação, ações para mitigar ou para corrigir podem ser iniciadas.

[004] Um método para medir uma deformação é fixar sensores de deformação na estrutura de fundo de poço antes da estrutura ser colocada no poço. Cada sensor de deformação proporciona uma medição da deformação experimentada pela estrutura na localização do sensor. Com sensores suficientes é possível determinar uma deformação e, portanto, uma forma da estrutura de fundo de poço. Dados a partir dos sensores são processados usando um algoritmo para determinar a deformação. Contudo, dependendo do número de sensores, localizações dos sensores e descontinuidades nos dados, é possível o

algoritmo não convergir em uma solução acurada e, portanto, não determinar a forma.

[005] Portanto, o que é necessário são várias técnicas para acuradamente determinar a forma de uma estrutura de fundo de poço.

BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[006] Descreve-se um exemplo de um método para estimar uma forma, o método incluindo: selecionar uma estrutura compreendendo uma pluralidade de sensores de deformação em comunicação inoperável com a estrutura, cada sensor de deformação sendo configurado para prover uma medição de deformação; colocar a estrutura em um poço; receber as medições de deformação a partir da pluralidade de sensores de deformação; criar uma grade de malha tendo nós, cada nó sendo relacionado a uma localização de um sensor de deformação e designado um valor de deformação medido pelo um sensor de deformação; criar um nó adicional para a grade de malha em que o valor de deformação designado para o nó adicional é derivado do valor de deformação correspondendo a pelo menos um nó adjacente; e executar um método finito inverso usando a grade de malha com os valores de deformação designados para estimar a forma.

[007] É também descrita uma modalidade de um sistema para estimar uma forma de uma estrutura de fundo de poço, o sistema incluindo: uma estrutura de fundo de poço; uma pluralidade de sensores de deformação em comunicação operável com a estrutura de fundo de poço, cada sensor de deformação provendo uma medição de deformação; e uma unidade de processamento em comunicação operável com a pluralidade de sensores de deformação, em que a unidade de processamento: processa as medições de deformação a partir dos sensores de deformação; cria uma grade de malha tendo nós, cada nó sendo relacionado a uma localização de um sensor de deformação e designado um valor de deformação medido pelo um sensor de defor-

mação; cria um nó adicional para a grade de malha em que um valor de deformação designado para o nó adicional é derivado a partir do valor de deformação correspondendo a pelo menos um nó adjacente; e executa um método finito inverso usando uma grade de malha com os valores de deformação designados para estimar a forma.

[008] Adicionalmente é descrita uma modalidade de um produto de programa de computador compreendendo instruções legíveis por máquina armazenadas em um meio legível por máquina para estimar uma forma de uma estrutura de fundo de poço, o produto tendo as instruções executáveis por máquina para: receber medições de deformação a partir de uma pluralidade de sensores de deformação em comunicação operável com a estrutura de fundo de poço; criar uma grade de malha tendo nós, cada nó relacionado a uma localização de um sensor de deformação e designado para um valor de deformação medido por um sensor de deformação; criar um nó adicional para a grade de malha, em que um valor de deformação designado para o nó adicional é derivado a partir do valor de deformação correspondendo a pelo menos um nó adjacente; executar um método finito inverso usando a grade de malha com o valor de deformação designado para estimar a forma; e pelo menos um dentre a forma gravada e a forma exibida para um usuário.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[009] O conteúdo que é considerado como a invenção é particularmente indicado e distintivamente reivindicado nas reivindicações e na conclusão do relatório descritivo. As características a seguir e outras características e as vantagens da invenção serão aparentes a partir da descrição detalhada a seguir tomada em conjunto com os desenhos anexos, em que elementos similares são numerados da mesma forma, nos quais:

A figura 1 é uma modalidade exemplificativa de uma estru-

tura disposta em um poço penetrando a terra;

A figura 2 é uma modalidade exemplificativa de um sistema de deformação de fibra ótica;

A figura 3 ilustra uma fibra ótica contendo uma pluralidade de redes de difração de fibra Bragg disposta na estrutura;

A figura 4 ilustra uma vista lateral de uma modalidade exemplificativa da fibra ótica disposta na estrutura em uma forma em espiral;

A figura 5 ilustra uma vista tridimensional de uma modalidade exemplificativa da fibra ótica disposta na estrutura em uma forma espiral; e

A figura 6 apresenta um exemplo de um método para a estimativa de uma forma de uma estrutura de fundo de poço.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0010] Descreve-se técnicas exemplificativas para acuradamente estimar uma forma de uma estrutura de fundo de poço. As técnicas, as quais incluem aparelho e método, usam uma pluralidade de sensores de deformação. Os sensores de deformação medem deformações experimentadas pela estrutura de fundo de poço nas localizações dos sensores. Um sistema de processamento usa um algoritmo para processar as medições a partir dos sensores de deformação para prover a forma (ou deformação) da estrutura de fundo de poço.

[0011] Normalmente, se uma carga conhecida é aplicada a uma estrutura, a corrente resultante experimentada pela estrutura pode ser calculada através de uma análise de elemento finito. Contudo, quando a carga é desconhecida, tal como em um ambiente de fundo de poço e as deformações conforme medidas pelos sensores de deformação são conhecidas, então um método de elemento finito inverso é usado para estimar a deformação ou a nova forma resultante das deformações. O método de elemento finito inverso pode ser implementado com pro-

gramas de computador matemáticos disponíveis comercialmente, tal como MATLAB® do The MathWorks of Natick, Massachusetts.

[0012] Com o método de elemento finito inverso, é criada uma grade de malha similar à grade de malha usada na análise de método finito. Em uma modalidade da grade de malha, a grade de malha é criada a partir de nós interconectados, que podem formar várias formas referidas como "elementos". Exemplos dos elementos incluem formas com três lados ou quatro lados, cada lado pode ser reto ou curvo. Quando uma linha reta com dois nós como pontos de extremidade é usada para definir um lado, o elemento é referido como "linear". Quando uma linha com três nós é usada para definir um lado que seja reto ou curvo, então o elemento é referido como "quadrático". De forma similar, quando uma linha com quatro nós é usada para definir um lado, então o elemento é referido como "cúbico".

[0013] Os nós geralmente correspondem às localizações do sensor. É importante para os nós serem espaçados próximos o suficiente juntos para assegurar que o método finito inverso convirja para uma solução acurada e, portanto, para prover uma forma acurada da estrutura de fundo de poço. Contudo, pode não existir um número adequado de sensores de deformação e, portanto, um número de nós adequado com um espaçamento apropriado para convergir em uma solução acurada. Nessa situação, os ensinamentos providos para criar nós adicionais e designar os valores de deformação para os nós adicionais. Os elementos de malha adicionais podem também ser criados a partir dos nós adicionais. Em geral, os nós adicionais são criados para a grade de malha antes do método de elemento finito inverso ser executado.

[0014] Quando um nó adicional é criado, o nó não corresponde a uma localização de um sensor de deformação. Portanto, um valor de deformação é determinado usando valores de deformação a partir de

nós adjacentes que correspondem às localizações do sensor de deformação e um método de interpolação. Um exemplo do método de interpolação é a interpolação linear. Com a interpolação linear, o valor é proporcional à distância dos nós com valores de deformação conhecidos. Por exemplo, se um nó 1 tem um valor de deformação de 20 e o nó 2 tem um valor de deformação de 60, então, se o nó 3 for criado na metade do percurso entre o nó 1 e o nó 2, o nó 3 irá ser designado para um valor de deformação de 40 $[(60-20)/2]+20=40$. Outros métodos de interpolação, incluindo métodos não-lineares, podem ser usados para aplainar os dados de interpolação entre os dados conhecidos.

[0015] Por conveniência, certas definições são apresentadas para uso através de todo o relatório descritivo. O termo "sensores de deformação" refere-se a um sensor fixado a ou embutido em uma estrutura em que os sensores medem a deformação experimentada pela estrutura. O termo "grade de malha" refere-se a uma grade que discretiza o domínio contínuo de uma estrutura em muitos elementos. Os elementos podem tomar qualquer forma tal como triângulos, retângulos, paralelogramos, etc.. Como usado aqui, um nó formando um elemento ou representando um elemento é associado com um valor de deformação tanto medido quanto designado. O termo "sensores de deformação em comunicação operável com a estrutura" se refere a sensores de deformação que podem medir uma deformação experimentada pela estrutura. As medições da deformação são transmitidas para uma unidade de processamento como "dados de deformação" ou "medições de deformação". O termo "aplainar" refere-se a criar novos nós em localizações que impedem ou limitam qualquer descontinuidade nas linhas formadas pelos elementos interconectados.

[0016] Uma estrutura cuja forma é estimada usando os ensinamentos aqui será agora apresentada. Com referência à figura 1, uma estrutura 10 é ilustrada disposta em um poço 2 penetrando a terra 7.

Na modalidade da figura 1, a estrutura 10 é um revestimento de poço. Em uma outra modalidade, a estrutura 10 pode ser uma tela de areia (isto é, um revestimento perfurado circundado por uma tela para impedir a areia de entrar no revestimento). A estrutura 10 representa qualquer estrutura colocada no poço 2, em que se deseja conhecer se a estrutura se submete a qualquer deformação ou mudança na forma.

[0017] Como discutido acima, os sensores de deformação são usados para monitorar as deformações experimentadas pela estrutura 10. Cada sensor de deformação pode ser fixado na estrutura 10, por exemplo, por adesivo ou embutido na estrutura 10. É vantajoso usar quantos sensores de deformação quanto possível de modo a obter uma grade de malha fina. Quanto mais fina for a grade de malha, mais acurada a forma estimada da estrutura 10 irá ser possível, centenas ou milhares de sensores de deformação podem ser usados com a reflectometria óptica no domínio da frequência (OFDR).

[0018] Um exemplo simplificado de um sistema de deformação de fibra ótica (FOSS) 20 usando OFDR é ilustrado na figura 2. Com referência à figura 2, o FOSS 20 inclui uma fibra ótica 21. A fibra ótica 21 inclui uma pluralidade de redes de difração de fibra Bragg 22 (ou mais geralmente, sensores de deformação 22) espaçados periodicamente na fibra 21. Cada rede de difração de fibra Bragg 22 tem um comprimento L , e uma distância de periodicidade D , para uma rede de difração adjacente 22. Em uma modalidade, L é cerca de 5 mm e D é cerca de 10 mm. Conforme a estrutura 10 experimenta a deformação, a rede de difração 22 em uma localização de deformação irá expandir ou contrair de acordo com a qualidade da deformação. A expansão ou a contração irão alterar o comprimento da trajetória ótica entre elementos sucessivos 23 dentro da rede de difração 22, desse modo mudando o comprimento de onda da luz refletida pela rede de difração 22. Em outras palavras, o comprimento de onda da luz refletida corresponde à

deformação experimentada pela estrutura 10 na localização da rede de difração 22. A figura 3 ilustra uma modalidade de fibra ótica 21 disposta na estrutura 10.

[0019] Com referência à figura 2, um laser de digitalização 23 é usado para iluminar a rede de difração 22. Em adição, um refletor de referência 25 é usado para formar um interferômetro com cada uma das redes de difração 22. A luz refletida a partir de cada rede de difração 22 induz uma interferência no interferômetro. A interferência induz um sinal (correspondendo à deformação experimentada pela estrutura 10) a partir de cada rede de difração 22 para ser modulada em uma frequência única. O sinal a partir de cada rede de difração 22 é, desse modo, mapeado para a frequência única em um espectro de frequência correspondendo a todas as redes de difração 22. Cada um dos sinais individuais pode ser recuperado a partir do espectro de frequência usando uma função de filtro passa banda.

[0020] Outros esquemas de multiplexação podem ser usados, como conhecido na técnica, para receber sinais a partir das redes de difração de fibra Bragg 22. Exemplos de outros esquemas de multiplexação incluem domínio de tempo, amplitude, fase e polarização.

[0021] Novamente com referência à figura 2, a luz emitida a partir do laser de digitalização 24 é transmitida através de um acoplador de luz 26 e, então, entra na fibra ótica 21. A luz refletida pelas redes de difração de fibra Bragg 22 é transmitida através do acoplador 26, e é detectada pelo detector de luz 27. O detector de luz 27 é acoplado a uma unidade de processamento 28. A unidade de processamento 28 recebe medições de deformação a partir do detector de luz 27 que são relacionadas a valores de deformação medidos por cada uma das redes de difração 22.

[0022] Geralmente, a unidade de processamento 28 inclui componentes que são necessários para prover o processamento em tempo

real de dados (medições de deformação) a partir do detector de luz 27. Os componentes exemplificativos incluem, sem limitação, pelo menos um processador, armazenamento, memória, dispositivo de entrada, dispositivo de saída e similares. Como esses componentes são conhecidos por aqueles versados na técnica, eles não serão ilustrados em quaisquer detalhes aqui.

[0023] A figura 4 ilustra uma vista lateral de uma modalidade exemplificativa da fibra ótica 21 disposta na estrutura 10 em uma forma em espiral. Cada ponto na fibra 21 representa uma rede de difração 22 ou sensores de deformação 22. A figura 5 ilustra uma vista tridimensional da estrutura 10 ilustrada na figura 4. Com referência à figura 5, uma grade de malha 50 é ilustrada revestindo a estrutura 10. A grade de malha 50 inclui uma pluralidade de elementos de malha definidos pelos nós 51. Um lado de cada elemento de malha é definido por dois ou mais nós 51. Na modalidade da figura 5, cada elemento de malha está na forma de um triângulo. Um valor de deformação medido por uma rede de difração 22 é designado para um nó 51.

[0024] Com referência à figura 5, de modo a assegurar que o método de elemento finito inverso convirja para uma solução acurada, nós adicionais 52 e, portanto, elementos de malha adicionais são criados para a grade de malha 50. Um valor de deformação designado para um nó adicional 52 é derivado a partir de valores de deformação designados para os nós dos elementos de malha adjacentes. O valor de deformação adicional pode ser derivado usando diversos métodos. Em um método, o valor de deformação adicional é derivado pela interpolação linear a partir dos valores de deformação designados para os nós 51 dos elementos de malha adjacentes. Em um outro método, o valor de deformação adicional é derivado pela interpolação dos nós 51 dos elementos de malha adjacentes usando pelo menos a análise quadrática, também conhecida como análise dos mínimos quadrados

ordinários. A análise dos mínimos quadrados ordinários é um método para a regressão linear, que determina os valores de quantidades conhecidas em um modelo estatístico pela minimização da soma dos resíduos quadrados (a diferença entre os valores preditos e observados).

[0025] Uma vez que os valores de deformação para os nós 51 e para os nós adicionais 52 são designados, então a grade de malha 50 com os valores de deformação designados é emitida para a unidade de processamento 28 para executar o método de elemento finito inverso. O método de elemento finito inverso irá então calcular os deslocamentos submetidos pela estrutura 10 e, portanto, estimar a nova forma da estrutura 10.

[0026] A figura 6 apresenta um exemplo de um método 60 para estimar uma forma da estrutura 10. O método 60 requer (etapa 61) a seleção da estrutura 10 que inclui uma pluralidade de sensores de deformação 22 dispostos na estrutura 10. Adicionalmente, o método 60 requer (etapa 62) a colocação da estrutura 10 no poço 2. Adicionalmente, o método 10 requer (etapa 63) o recebimento das medições de deformação a partir da pluralidade de sensores de deformação 22. Adicionalmente, o método 60 requer (etapa 64) a criação da grade de malha 50 incluindo os nós 51. Cada nó 51 é relacionado a uma localização de um sensor de deformação 22 e designado a um valor de deformação medido pelo um sensor de deformação 22. Adicionalmente, o método 60 requer (etapa 65) a criação do nó adicional 52 em que um valor de deformação designado para o nó adicional 52 é derivado a partir do valor de deformação correspondendo a pelo menos um nó adicional 51. Adicionalmente, o método 60 requer (etapa 66) a execução do método de finito inverso usando a grade de malha 50 que inclui os nós com os valores de deformação designados para estimar a forma.

[0027] Geralmente, alguns dos ensinamentos aqui são reduzidos a um algoritmo que é armazenado no meio legível por máquina. O algoritmo é implementado pela unidade de processamento 28 e proporciona operadores com a saída desejada. A saída é tipicamente gerada em uma base de tempo real.

[0028] A unidade de processamento 28 pode ser usada para prover a estimativa de tempo real da forma da estrutura 10 de fundo de poço. Como usado aqui, a geração das medições de deformação em "tempo real" é empregada para a geração das medições de deformação em uma taxa que é útil ou adequada para tomar decisões durante, ou ao mesmo tempo em que, os processos, tal como de produção, de experimentação, de verificação e outros tipos de pesquisa, que são usados ou que podem ser escolhidos por um usuário ou operador. Desse modo, deve ser entendido que "tempo real" é para ser tomado no contexto, e não necessariamente indica a determinação instantânea de dados ou de medições de deformação, ou toma quaisquer outras sugestões com relação à frequência temporal de coleta de dados e de determinação.

[0029] Um alto grau de controle de qualidade sobre os dados pode ser considerado durante a implementação dos ensinamentos aqui. Por exemplo, o controle de qualidade pode ser obtido através de técnicas conhecidas de processamento iterativo e de comparação de dados. Consequentemente, é contemplado que fatores de correção adicionais e outros aspectos para o processamento em tempo real podem ser usados. Vantajosamente, o usuário pode aplicar uma tolerância de controle de qualidade desejada para os dados e, assim, extrair um equilíbrio entre a rapidez de determinação dos dados e um grau de qualidade nos dados.

[0030] No suporte das técnicas aqui, vários componentes de análise podem ser usados, incluindo sistemas digitais e/ou analógicos. Os

sistemas digitais e/ou analógicos podem ser, por exemplo, incluídos na unidade de processamento 28. O sistema pode ter componentes tal como um processador, um conversor de analógico para digital, um conversor de digital para analógico, um meio de armazenamento, uma memória, entrada, saída, enlaces de comunicação (por cabo, sem fio, múltiplos pulsos, óticos ou outros), interfaces de usuário, programas de software, processadores de sinal (digital ou analógico) e outros de tais componentes (tal como resistores, capacitores, indutores e outros) para prover a operação e a análise dos aparelhos e dos métodos aqui descritos em quaisquer das diversas maneiras bem-conhecidas na técnica. É considerado que esses ensinamentos podem ser, mas não necessitam ser, implementados em conjunto com um conjunto de instruções executáveis por computador armazenadas em um meio legível por computador, incluindo memória (ROMs, RAMs), ótica (CD-ROMs) ou magnética (discos, drives rígidos) ou qualquer outro tipo que quando executado induz um computador a implementar o método da presente invenção. Essas instruções podem prover a operação do equipamento, controle, coleção de dados e análise e outras funções consideradas como sendo relevantes por um projetista de sistema, proprietário, usuário ou outras de tais pessoas, em adição às funções descritas no presente relatório descritivo.

[0031] Adicionalmente, vários outros componentes podem ser incluídos e requeridos para prover aspectos dos ensinamentos aqui. Por exemplo, um fornecedor de energia (por exemplo, pelo menos um dentre um gerador, um fornecedor remoto e uma bateria), componentes de resfriamento, componentes de aquecimento, força motiva, processador de sinal digital, processador e sinal analógico, sensor, transmissor, receptor, transceptor, controlador, unidade óptica, conector óptico, unidade elétrica ou unidade eletromecânica podem ser incluídos no suporte de vários aspectos discutidos aqui ou em suporte a outras fun-

ções, além da presente descrição.

[0032] Elementos das modalidades têm sido introduzidos com ambos os artigos "um" ou "uma". Os artigos são pretendidos para significar que existe um ou mais dos elementos. O termo "incluindo" e "tendo" são pretendidos para serem inclusivos tal que eles possam ser elementos adicionais outros além dos elementos listados. O termo "ou" quando usado com uma lista de pelo menos dois elementos é pretendido para significar quaisquer elementos ou combinações de elementos.

[0033] Deve ser reconhecido que vários componentes ou tecnologias podem ser providos com funcionalidades ou características benéficas ou necessárias. Consequentemente, essas funções e características como podem ser necessárias no suporte das reivindicações em anexo e das variações das mesmas, são reconhecidas como sendo inerentemente incluídas como parte dos ensinamentos aqui e como parte da invenção descrita.

[0034] Apesar de a invenção ter sido descrita com referência às modalidades exemplificativas, deve ser entendido que várias mudanças podem ser feitas e equivalentes podem ser substituídos por elementos dos mesmos sem fugir do escopo da invenção. Em adição muitas modificações irão ser apreciadas para adaptar um instrumento particular, situação ou material aos ensinamentos da invenção sem fugir do escopo essencial da mesma. Portanto, é pretendido que a invenção não seja limitada à modalidade particular descrita como sendo o melhor modo contemplado para executar essa invenção, mas que a invenção inclua todas as modalidades que incidam dentro do escopo das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para estimar uma forma de uma estrutura (10), o método compreendendo:

selecionar uma estrutura (10) compreendendo uma pluralidade de sensores de deformação (22) em comunicação inoperável com a estrutura, cada sensor de deformação (22) sendo configurado para prover uma medição de deformação;

colocar a estrutura (10) em um furo de poço (2);

receber as medições de deformação a partir da pluralidade de sensores de deformação (22);

criar uma grade de malha (50) compreendendo nós (51), cada nó (51) sendo relacionado a uma localização de um sensor de deformação (22) e designado um valor de deformação medido pelo um sensor de deformação (22);

o método caracterizado pelo fato de

criar um nó adicional (52) para a grade de malha (50) em que o valor de deformação designado para o nó adicional (52) é derivado do valor de deformação correspondendo a pelo menos um nó adjacente (51); e

executar um método finito inverso usando a grade de malha (50) com os valores de deformação designados para estimar a forma;

em que o nó adicional (52) para a grade de malha (50) é criado antes de executar o método finito inverso.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de sensores de deformação (22) compreende redes de difração de fibra Bragg (22) dentro de uma fibra ótica (21).

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que receber as medições de deformação compreende usar um método multiplex.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o método multiplex compreende uma multiplexação de domínio de frequência ótica.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o método multiplex compreende uma multiplexação de domínio de tempo.

6. Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o método multiplex compreende pelo menos uma multiplexação de amplitude, uma multiplexação de fase e uma multiplexação de polarização.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a grade de malha (50) compreende pelo menos um elemento de malha.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o pelo menos um elemento de malha tem três lados.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o pelo menos um elemento de malha tem quatro lados.

10. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o pelo menos um elemento de malha é pelo menos um dentre linear, quadrático e cúbico.

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o valor de deformação designado para o nó adicional (52) é derivado a partir de uma interpolação linear do valor de deformação correspondendo ao pelo menos um nó adjacente (51).

12. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o valor de deformação designado para o elemento de malha adicional é derivado a partir de pelo menos uma interpolação quadrática do valor de deformação correspondendo ao pelo menos um nó adjacente (51).

13. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o valor de deformação designado para o nó adicional (52) é derivado a partir de um ajuste de curva suave do valor de deformação correspondendo ao pelo menos um nó adjacente (51).

14. Sistema para estimar uma forma de uma estrutura de fundo de poço (10), o sistema compreendendo:

uma estrutura de fundo de poço (10);

uma pluralidade de sensores de deformação (22) em comunicação operável com a estrutura de fundo de poço (10), cada sensor de deformação (22) provendo uma medição de deformação; e

uma unidade de processamento (28) em comunicação operável com a pluralidade sensores de deformação (22) em que a unidade de processamento (28) é configurada para:

processar as medições de deformação a partir dos sensores de deformação (22); e

criar uma grade de malha (50) compreendendo nós (51), cada nó sendo relacionado a uma localização de um sensor de deformação (22) e designado um valor de deformação medido pelo um sensor de deformação (22); o sistema caracterizado pelo fato de que a unidade de processamento (28) é adicionalmente configurada para:

criar um nó adicional (52) para a grade de malha (50) em que um valor de deformação designado para o nó adicional (52) é derivado a partir do valor de deformação correspondendo a pelo menos um nó adjacente (51); e

executar um método finito inverso usando uma grade de malha (50) com os valores de deformação designados para estimar a forma;

em que o nó adicional (52) para a grade de malha (50) é criado antes de executar o método finito.

15. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, caracteri-

zado pelo fato de que a pluralidade de sensores de deformação (22) compreende redes de difração de fibra Bragg (22) dentro de uma fibra ótica (21).

16. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que pelo menos uma das redes de difração (22) é menor do que 5 milímetros (mm) de comprimento e o espaço entre duas redes de difração (22) é menor do que 10 mm.

17. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente um sistema de deformação de fibra ótica (20).

18. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o valor de deformação designado para o nó adicional (52) é derivado a partir do valor de deformação correspondendo ao pelo menos um nó adjacente (51) usando pelo menos uma interpolação linear, pelo menos uma interpolação quadrática e o ajuste de curva suave.

19. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a grade de malha (50) compreende elementos de malha que são pelo menos um dentre linear, quadrático e cúbico.

FIG. 1

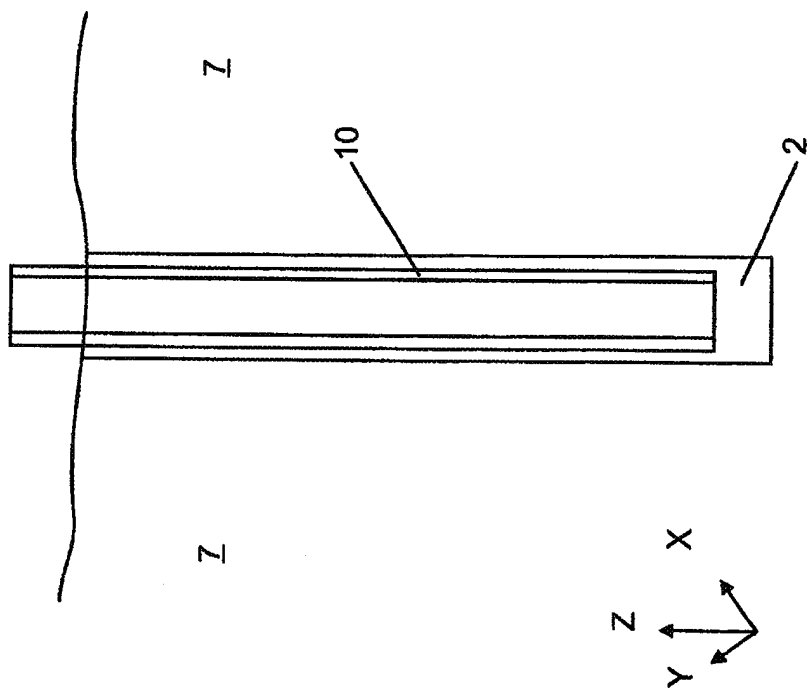


FIG. 3

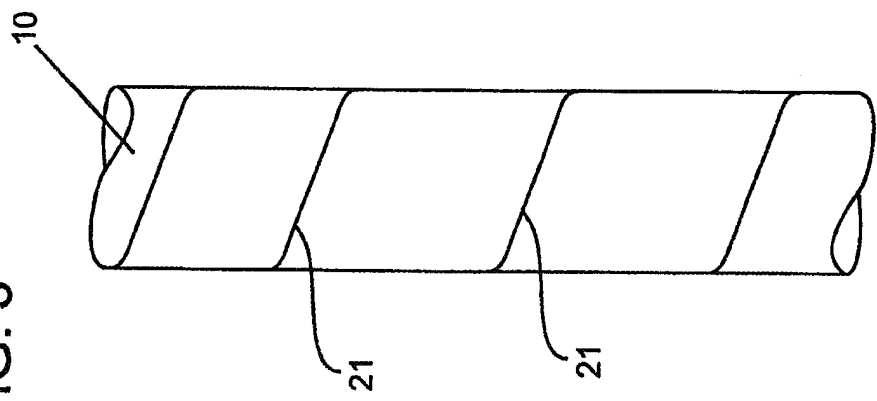
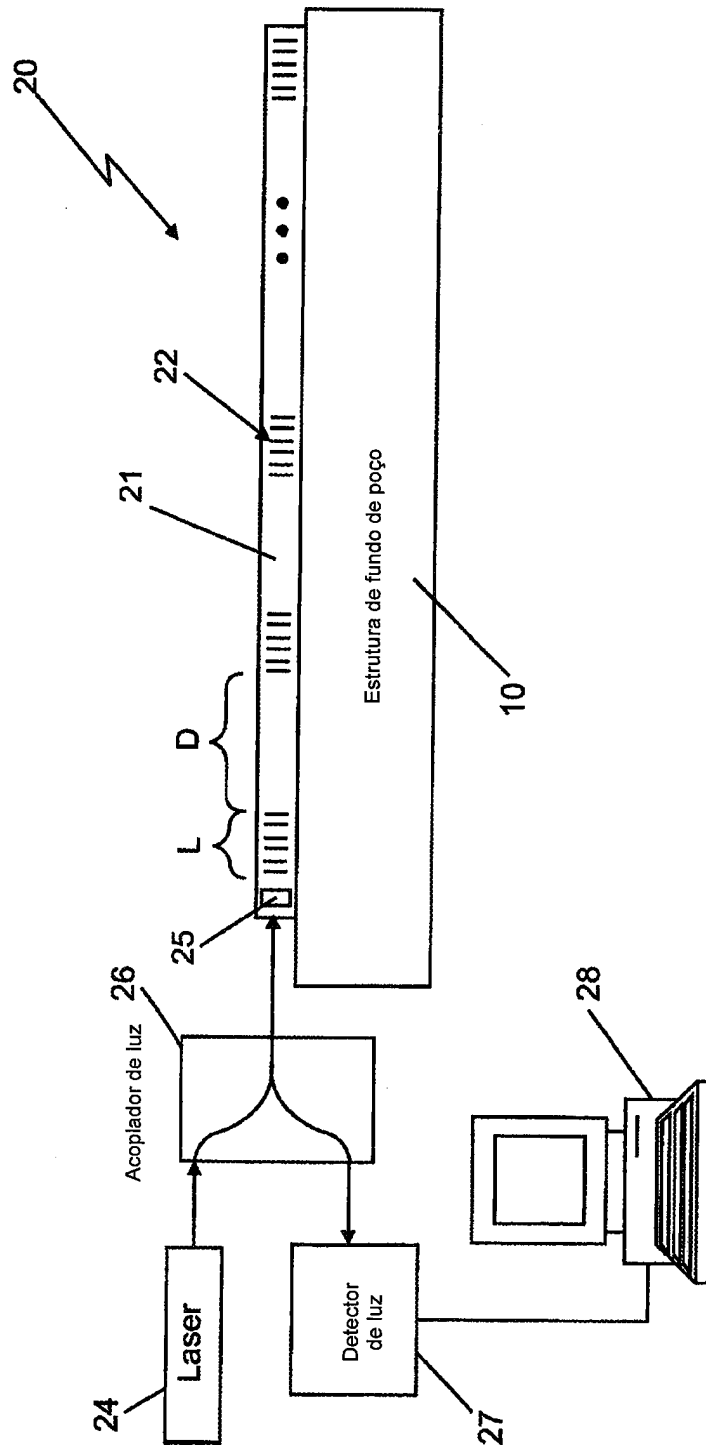
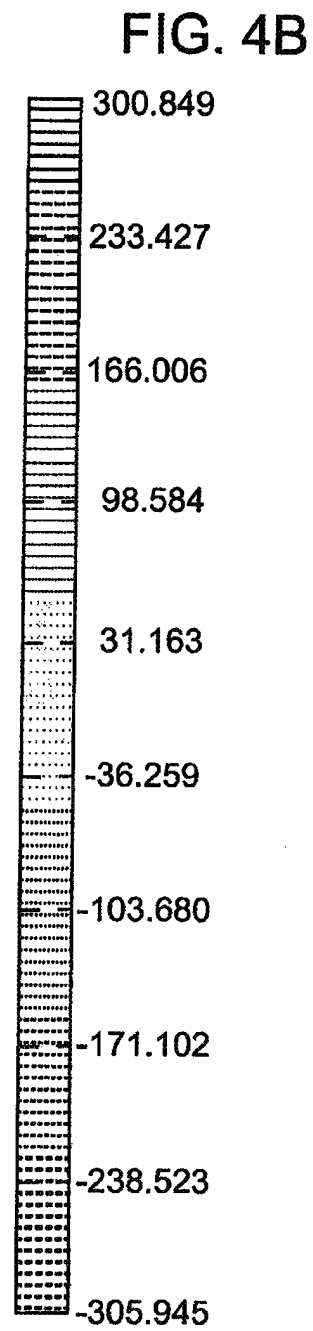
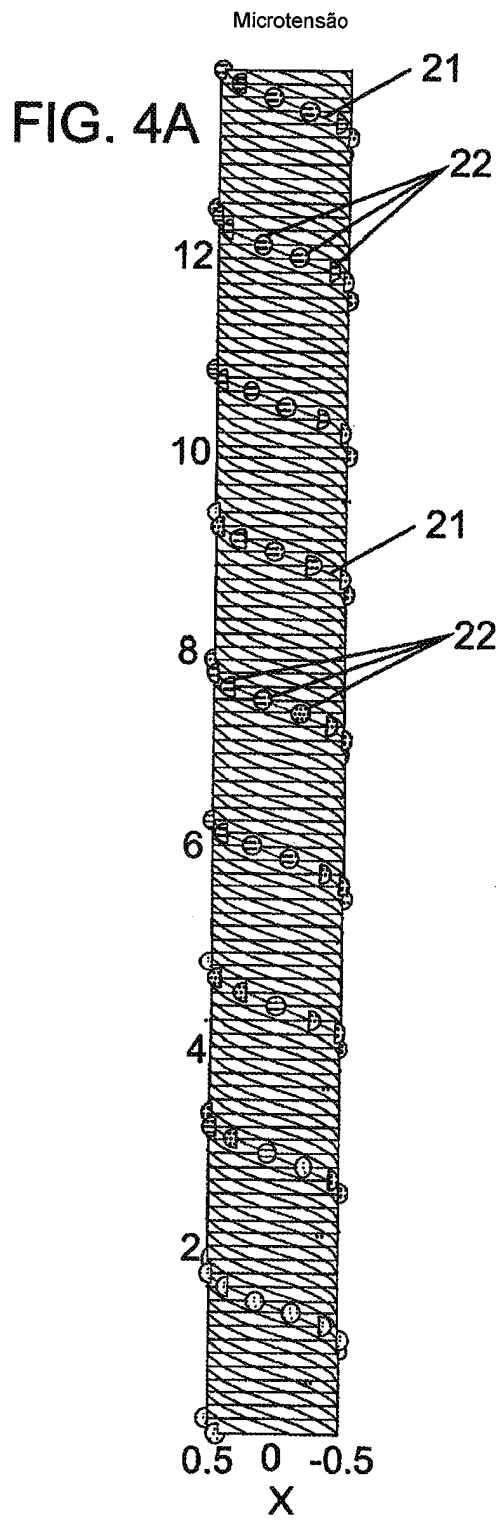


FIG. 2





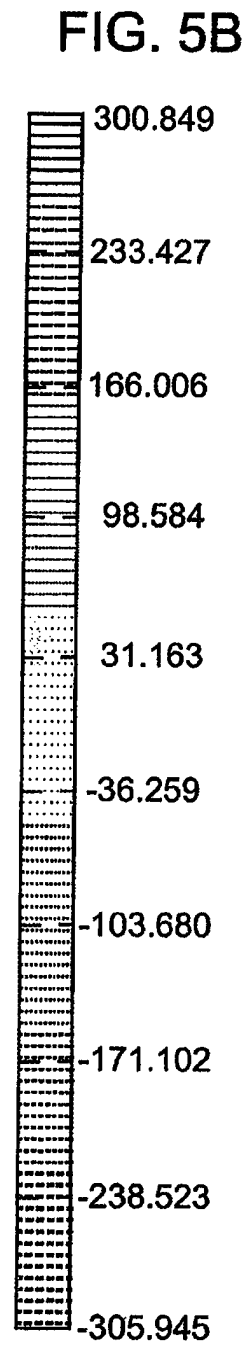
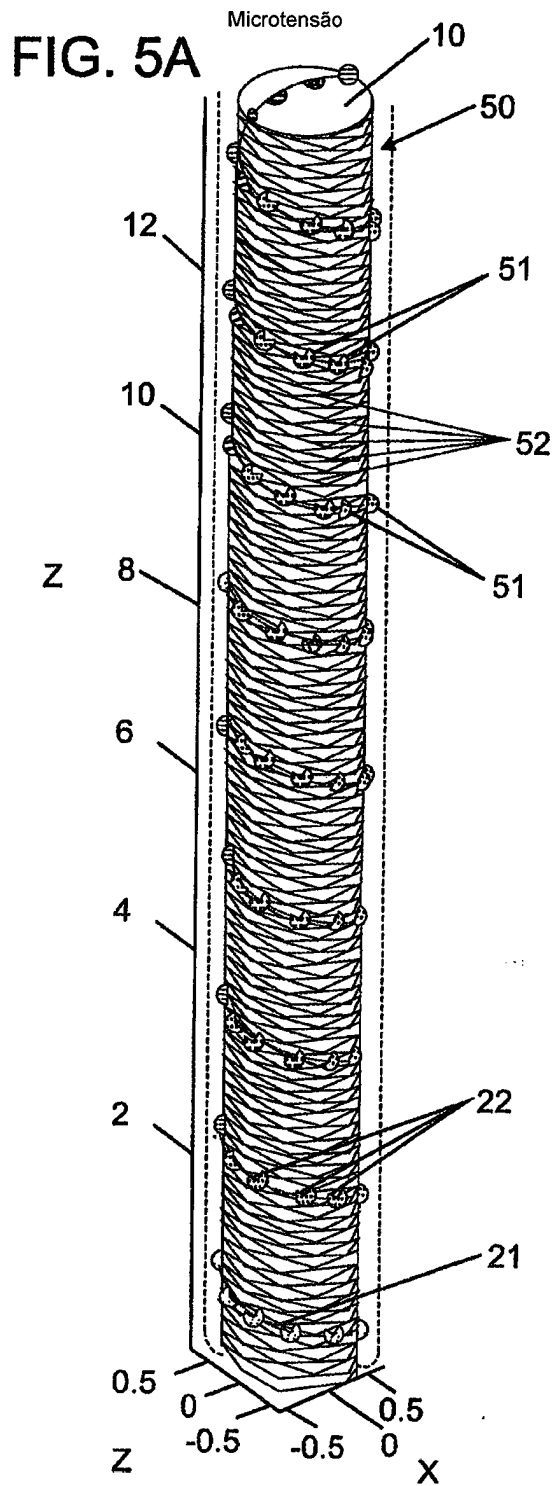


FIG. 6

