



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

**(21) PI 0720487-6 A2**



(22) Data de Depósito: 17/12/2007  
(43) Data da Publicação: 04/02/2014  
(RPI 2248)

(51) *Int.Cl.:*  
F16L 11/12  
F16L 11/16

**(54) Título:** TUBO FLEXÍVEL

**(57) Resumo:**

**(30) Prioridade Unionista:** 22/12/2006 DK PA 2006 01706,  
23/08/2007 DK PA 2007 01205

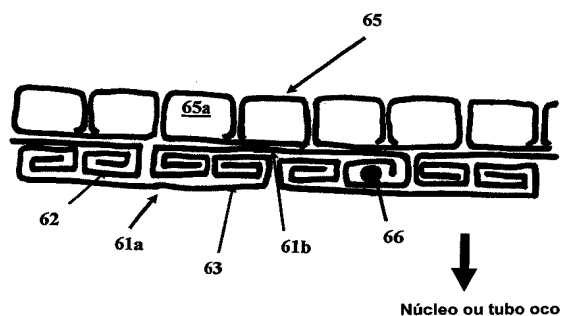
**(73) Titular(es):** NKT Flexibles I/S

**(72) Inventor(es):** Jonas Gudme

**(74) Procurador(es):** Momsen, Leonardos & Cia.

**(86) Pedido Internacional:** PCT DK2007050189 de  
17/12/2007

**(87) Publicação Internacional:** WO 2008/077410de  
03/07/2008



## REIVINDICAÇÕES

1. Tubo flexível, caracterizado pelo fato de que inclui uma pluralidade de camadas circundando um eixo longitudinal e um arranjo de sensor pelo menos parcialmente integrado, dita pluralidade de camadas incluindo uma bainha interna e uma ou mais camadas de blindagem, pelo menos uma camada de blindagem incluindo pelo menos uma tira de metal dobrada enrolada helicoidalmente em torno do dito eixo longitudinal do tubo, pelo menos uma parte do dito arranjo de sensor sendo colocado em uma dobra da dita tira de metal dobrada.

2. Tubo flexível de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que dito arranjo de sensor inclui uma fibra óptica, dita fibra óptica sendo colocada de preferência em uma dobra da dita tira de metal dobrada.

3. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato de que dito arranjo de sensor inclui uma ou mais linhas de transmissão e/ou um ou mais fios elétricos, de preferência pelo menos uma dita linha de transmissão e/ou um ou mais fios elétricos sendo colocados em uma dobra da dita tira de metal dobrada.

4. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que dito arranjo de sensor seja capaz de detectar pelo menos uma propriedade, de preferência selecionada a partir do grupo de fadiga por tensão, temperatura, vazamento do tubo, desgaste, deformações mecânicas, pressão, corrosão química, concentração de sal do líquido em contato com o tubo e valor do pH do líquido em contato com o tubo.

5. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que dita camada de blindagem é uma camada de blindagem intertravada, não intertravada ou parcialmente intertravada.

6. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que dita camada de blindagem inclui pelo menos uma tira de metal dobrada enrolada helicoidalmente, dita tira de metal dobrada sendo intertravada consigo mesma em sucessivas voltas ou intertravada com uma ou mais elementos adicionais de metal enrolados helicoidalmente em que dito elemento adicional de metal enrolado helicoidalmente inclui de preferência uma tira de metal dobrada adicional e/ou um perfil.

7. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que dita tira de metal dobrada é dobrada para ter pelo menos uma seção de caixa, de preferência pelo menos uma parte do dito arranjo do sensor sendo colocada na dita seção de caixa.

8. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que dita tira de metal dobrada é dobrada pelo menos ao longo de uma de suas bordas, de preferência ambas de suas bordas, para formar pelo menos uma seção de borda dobrada, dita seção de borda dobrada preferivelmente projetando-se em uma das direções para ou para fora do eixo longitudinal do tubo, e de preferência uma parte do dito arranjo de sensor sendo colocada na dita seção de borda dobrada.

9. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que dita tira de metal dobrada pelo menos ao longo de uma de suas bordas, de preferência ambas de suas bordas, é dobrada contra si para formar pelo menos uma seção de borda projetando-se em uma das direções para ou para fora do eixo longitudinal do tubo.

10. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações 8-9, caracterizado pelo fato de que a pelo menos uma tira de metal dobrada é dobrada pelo menos ao longo de uma de suas bordas em pelo

menos uma dobra para formar pelo menos uma seção de borda, de preferência, pelo menos ao longo de uma de suas bordas a pelo menos uma dobra sendo dobrada em torno de pelo menos uma parte do dito arranjo de setor.

5                    11. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações 8-10, caracterizado pelo fato de que a pelo menos uma tira de metal dobrada é dobrada contra ela mesma em pelo menos ao longo de uma de suas bordas em pelo menos uma dobra, de preferência pelo menos duas dobras, para formar pelo menos uma seção de borda, mais preferivelmente  
10 dita pelo menos uma tira de metal dobrada é dobrada contra ela mesma para formar pelo menos uma seção de borda compreendendo duas ou mais camadas de material de tira.

                  12. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a dita pelo menos  
15 uma tira de metal dobrada é dobrada para formar duas seções de borda e uma seção intermediária não dobrada entre as duas seções de borda, dita seção intermediária não dobrada tendo de preferência uma espessura essencialmente uniforme.

                  13. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a dita pelo menos  
20 uma camada de blindagem inclui pelo menos uma tira de metal dobrada e pelo menos um perfil que sejam intertravados um com outro.

                  14. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que pelo menos uma  
25 parte do dito arranjo de sensor é fixada em pelo menos uma dobra da dita tira de metal dobrada, pelo menos uma parte do dito arranjo de sensor sendo preferivelmente fixada ao longo da maior parte do comprimento das ditas tiras de metal dobradas e/ou pelo menos uma parte do dito arranjo de sensor sendo fixada em uma pluralidade de pontos fixos ao longo do comprimento da dita

de metal dobrada, dito arranjo de sensor é por exemplo fixado por sujeição provida pela dita tira de metal dobrada e/ou por cola.

5 15. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que dito tubo flexível inclui uma camada de blindagem interna (carcaça) circundada pela dita bainha interna, pelo menos uma parte do dito arranjo de sensor sendo integrada na dita camada de blindagem interna.

10 16. Tubo flexível de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que dito tubo flexível inclui uma camada de blindagem externa circundando dita bainha interna, pelo menos uma parte do dito arranjo de sensor sendo integrada em dita camada de blindagem externa.

## “TUBO FLEXÍVEL”

### CAMPO TECNICO

A invenção se refere a um tubo flexível o qual pode ser usado para transporte de fluidos e gases, e em particular a um tubo flexível do tipo que é usado em transporte de água, e em transporte de óleo cru afastado da costa, por exemplo, a partir de um solo oceânico para uma instalação, ou entre instalações, como também como os tubos flexíveis chamados umbilicais.

### FUNDAMENTOS DA TÉCNICA

Os tubos flexíveis para uso afastado da costa são, freqüentemente, tubos ilimitados. O termo “ilimitado” significa nesse texto que pelo menos duas das camadas do tubo não se limitam uma com a outra. Frequentemente tubos flexíveis não limitados incluem uma bainha interna a qual forma uma barreira contra o fluxo de saída do fluido que está sendo transportado pelo tubo, e uma ou mais camadas blindadas do lado de fora da bainha interna (camada(s) blindadas externas). O tubo flexível pode incluir camadas adicionais tais como uma carcaça a qual é uma camada de blindagem interna para evitar o colapso da bainha interna. Uma bainha externa pode ser provida com o objetivo de formar uma barreira contra a entrada de fluidos a partir do tubo circundando as camadas de blindagem. Na prática, o tubo incluirá normalmente pelo menos duas camadas, as quais não se limitam uma com a outra, direta ou indiretamente, via outras camadas ao longo do tubo. Assim, o tubo se torna dobrável e suficientemente flexível para rolar para cima para transporte.

O tipo de tubos flexíveis mencionado acima é usado, entre outras coisas, para aplicações afastadas da costa como também em algumas aplicações no litoral, para transporte de fluidos e gases. Tubos flexíveis podem, por exemplo, ser usados para transportar fluidos onde existe a pressão da água, muito alta ou variável ao longo do eixo longitudinal do tubo o qual se estende a partir do solo oceânico até uma instalação na superfície do mar

ou perto dela. Tubos para transporte de líquido e gases entre instalações, tubos que são localizados em grandes profundidades no solo oceânico, ou entre instalações perto da superfície do mar.

Um tubo umbilical é um tipo de tubo flexível que é usado para o transporte de líquido de processo e óleo hidráulico e para transportar luz e força a partir de uma instalação posicionada na superfície do mar e para baixo para os poços de óleo no solo oceânico. Tubos umbilicais não são envolvidos diretamente com o transporte de óleo e gás, mas podem ser necessários para o suprimento dos líquidos de processo, os quais, como mencionado, devem ser usados para a recuperação do óleo, como também para o funcionamento dos tubos hidráulicos, fios elétricos, fibras ópticas, etc. Um tubo umbilical pode ser combinado com um tubo de transporte de óleo/gás por exemplo, um elevador para formar um tubo umbilical de produção integrada ou um tubo umbilical de serviço integrado.

Frequentemente se deseja medir uma ou mais ações químicas, físicas e/ou mecânicas às quais o tubo flexível é exposto durante o uso.

Sensores para medir ações químicas, físicas e/ou mecânicas são bem conhecidos na técnica. Sensores do tipo de medida de fadiga são frequentemente usados para medir forças que causam deformações mecânicas, nas quais a fadiga mede a resistência elétrica que em um condutor é trocada por um impacto mecânico. Além do mais, são conhecidos sensores monitorando mudanças nas propriedades de um componente óptico causadas por deformações mecânicas ou por variações de temperatura.

Sensores e linhas de transmissão possíveis de sensores serão daqui em diante referenciados como arranjos de sensor.

Claramente, o uso de arranjos de sensor do tipo acima mencionado para monitorar tubos flexíveis exige que eles sejam montados bem protegidos de forma que não sejam danificados em uso.

Em conexão com tubos flexíveis onde a estrutura dos tubos é

do tipo conhecido como ilimitado, isto é, a estrutura inclui várias camadas e as camadas devem ser capazes de moverem-se relativas uma à outra, a fim de que o tubo permaneça flexível. Portanto, se o arranjo do sensor fosse disposto livremente entre as camadas, ele seria rapidamente danificado.

5 O requerente proveu anteriormente um método de montar tal arranjo de sensor em uma camada de blindagem provendo uma ranhura em um fio de blindagem e fixando o arranjo de sensor nessa ranhura, com uma cola e/ou através de deformação mecânica da ranhura. Esse método é colocado em US7024941.

10 O objetivo da invenção é prover um tubo do tipo flexível com arranjo de sensor integrado. A invenção também se refere a um método de montar um arranjo de sensor em um tubo flexível, assegurando que o arranjo de sensor em um tubo flexível esteja bem protegido contra impactos mecânicos indesejáveis e esteja assim operacionalmente confiável durante o  
15 tempo de serviço do tubo flexível.

Esse objetivo foi alcançado pela invenção, como reivindicado.

#### DESCOBRIMENTO DA INVENÇÃO

O tubo flexível da invenção inclui uma pluralidade de camadas circundando um eixo longitudinal e em pelo menos um arranjo de sensor  
20 parcialmente integrado, dita pluralidade de camadas incluindo uma bainha interna e uma ou mais camadas blindadas, pelo menos uma camada blindada incluindo pelo menos uma tira de metal dobrado helicoidalmente enrolada em torno do dito eixo longitudinal do tubo, pelo menos uma parte do dito arranjo do setor sendo colocada em uma dobra da dita tira de metal dobrada.

25 Na maioria das situações o eixo longitudinal do tubo será um eixo longitudinal do tubo, principalmente em situações onde o tubo flexível se destina ao transporte de fluidos. Em algumas situações o eixo longitudinal do tubo não é oco, principalmente em situações onde o tubo flexível é um tubo helicoidal.

Deveria ser enfatizado que o termo “inclui/incluindo” quando usado nessa especificação é tomado para especificar a presença de características fixadas, inteirezas, etapas ou componentes, mas não impede a presença ou a adição de uma ou mais características fixadas, inteirezas, etapas componentes ou grupos dos mesmos.

Uma tira dobrada é aqui definida como em princípio, uma unidade em princípio sem fim com pelo menos uma dobra e uma largura que é na condição não dobrada pelo menos 6 vezes a sua espessura, tal como pelo menos 10, tal como pelo menos 15, tal como pelo menos 25 vezes a sua espessura ou mesmo até 100 ou 500 vezes sua espessura.

Um perfil é uma unidade em princípio contínuo com um perfil pré formado não dobrado transversal seccional. O perfil pode ter preferivelmente uma largura de 6 vezes menos a sua espessura. O termo “contínuo” é usado para indicar que as fitas e perfis são muito longos se comparados às suas outras dimensões.

Um fio é um de uma tira que pode ou não pode ser dobrado e um perfil.

O tubo flexível da invenção inclui uma pluralidade de camadas circundando um núcleo oco, a pluralidade de camadas incluindo uma bainha interna e uma ou mais camadas blindadas, pelo menos uma camada blindada incluindo pelo menos uma tira de metal dobrada, enrolada helicoidalmente.

Como mencionado acima o tubo flexível da invenção pode ter uma ou mais camadas blindadas. O número e a localização da camada ou camadas de blindagem podem, por exemplo, como é bem conhecido a partir da técnica anterior, como descoberto, por exemplo, na US 6 065 501, US 5 813 439 e WO 01/81809. Pelo menos uma das camadas de blindagem é uma camada de blindagem intertravada formada a partir de pelo menos um perfil e pelo menos uma tira de metal dobrada com um arranjo de sensor pelo menos parcialmente integrado.

O tubo flexível de uma invenção pode incluir em uma configuração duas ou mais camadas de blindagem enroladas em uma bainha interna. As duas camadas de blindagem podem, por exemplo, ser de fios enrolados, por exemplo, enrolados transversais em ângulos para o eixo de centro do tubo de 40-60 graus, tal como 45-58 graus, tal como 53 -56 graus para o eixo central da tubulação. Tais camadas de blindagem de fios enrolados transversais tendo ângulos de 40-60 graus são frequentemente referenciadas como um par de camadas de tração equilibradas. O tubo flexível pode incluir adicionalmente uma camada interna blindada a qual em geral é referenciada como uma carcaça.

Quaisquer graus aqui mencionados devem ser considerados para significar graus em relação ao eixo longitudinal do tubo sem ser especificado de forma diferente.

As direções para ou para longe do eixo longitudinal deveriam ser consideradas para significar a direção radial em direção ao eixo de centro longitudinal do tubo.

As seções de borda da tira de metal dobrada deveriam ser tomadas para significar as duas seções de borda opostas estendendo-se essencialmente na direção do comprimento da tira e incluindo pelo menos uma dobra capaz de encaixar a uma borda do perfil.

Uma camada interna de blindagem é uma camada de blindagem que é colocada dentro da bainha interna e tem a função principal de prevenir esmagamento do tubo devido a forças externas. Uma camada interna de blindagem pode ser colocada em contato direto com o lado interno da bainha interna, ou uma ou mais camadas de materiais, por exemplo, uma camada de filme ou um filme isolante podem ser colocados entre o lado interno da bainha interna e a camada de blindagem interna.

Uma camada de blindagem externa é uma camada de blindagem externa colocada fora da bainha interna e tem como principal

propósito o de resistir às forças de pressão devido a forças internas e/ou forças de tração, devido tanto a forças internas como a forças externas. Geralmente, um tubo flexível incluirá pelo menos duas camadas de blindagem externas. Uma camada de blindagem externa mais interna pode ser colocada em contato  
5 direto com o lado externo da bainha interna, ou uma ou mais camadas de material, por exemplo, um filme pode ser colocado entre o lado externo da bainha interna e da camada de blindagem externa íntima. Se o tubo inclui duas ou mais camadas de blindagem externas, essas camadas de blindagem  
10 externas podem ser colocadas em contato direto uma com a outra ou as duas ou mais camadas de blindagem externas podem, independentemente uma da outra, serem separadas por uma ou mais camadas de material como, por exemplo, camadas de filme(s), folhas intermediárias, bainhas de isolamento(s) ou similar.

Como proteção o tubo flexível pode incluir uma bainha  
15 externa, de preferência uma camada de polímero.

O tubo flexível da invenção pode incluir em uma configuração uma camada interna de blindagem e três ou mais camadas de blindagem externas, em que a mais interna das camadas de blindagem externas é uma abóboda de arames enrolados, enrolados em um ângulo inclinado para o eixo  
20 central do tubo, por exemplo, acima de 80 graus, tal como acima de 90 graus, e as outras duas camadas de blindagem são de fios enrolados transversais em ângulos de 25-40, e 70-80 graus, respectivamente.

O tubo flexível da invenção pode incluir camadas adicionais, tal como é bem conhecido na técnica, por exemplo, camadas isolantes de  
25 polímeros, compostos, cortiça ou outros, bainhas de polímero intermediário ou filmes e etc.

O tubo flexível da invenção pode, por exemplo, ter uma estrutura como a descrita em qualquer um dos documentos da técnica anterior US 6691743, US 6668867, US 5813439, WO 02426774, US 5730188, US

6354333, US 4549581, US 6192941, US 6283161, WO 0181809, WO 0036324, US 6454897, US 6408891 e US 6110550, com a modificação que pelo menos uma das camadas blindadas pelo menos uma tira de metal dobrada com um arranjo de sensor é descrita aqui.

5                   Nos tubos flexíveis da técnica anterior, tiras de metal dobradas tem sido usadas primeiramente em camadas de blindagem internas as quais são freqüentemente referenciadas como carcaças. Entretanto, tubos pouco flexíveis com camadas de blindagem externa incluindo tiras de metal dobradas foram descobertos, ver, por exemplo, US 6840286, US 6668867 e  
10                   US 2004/0055550. De acordo com a invenção o tubo flexível pode ser como descrito em qualquer um desses tipos de tubos flexíveis da técnica anterior incluindo uma tira de metal dobrada com a modificação que um arranjo de sensor é pelo menos parcialmente integrado à camada de blindagem incluindo dita tira de metal dobrada.

15                   O arranjo de sensor pode em princípio, ser qualquer tipo de arranjo de sensor que pode ser incorporado na camada de blindagem. Em uma configuração o arranjo de sensor inclui uma fibra óptica.

                    O sensor óptico é de preferência um sensor de fibra óptica, Sensores de fibra óptica preferidos incluem um ou mais de A-D:

20                   A) Sensores de apontar: a medida é concebida em um único ponto no espaço, mas canais múltiplos possíveis para endereçar pontos múltiplos. Exemplos são sensores Fabry-Perot e sensores Fibre Bragg Grating (FBG)

                    B) Sensores integrados: a medida calcula a média de um  
25                   parâmetro físico sobre certa seção espacial e um único valor. Um exemplo é um sensor de deformação medindo a fadiga sobre o comprimento de uma base longa.

                    C) Sensores multiplexadores ou quase distribuídos: a medida é determinada em discretos pontos numerosos ou é fixos ao longo de um único

cabo de fibra óptica. Os exemplos mais comuns são multiplexadores FBG.

D) Sensores distribuídos: o parâmetro de interesse é medido com certa resolução espacial em qualquer ponto ao longo de um único cabo óptico. Exemplos incluem extensões de sistemas baseados em Rayleigh, Raman e Brillouin.

Um sensor adequado é um sensor como descrito em US 7 024 941. Informação adicional sobre sensor óptico pode ser obtida, por exemplo, no site da Internet provido por sensorland.com.

A fibra óptica é colocada de preferência em uma dobra da dita tira de metal dobrada. Deve ser entendido que as partes da fibra óptica podem estar fora da tira de metal dobrada, em particular uma ou ambas as extremidades da fibra óptica pode estar fora da tira de metal dobrada.

A extremidade mais acima da fibra óptica pode ser colocada para ser conectada a um elemento de leitura e/ou a um elemento alimentador de luz. A parte mais baixa da fibra pode ser integrada em uma fixação de extremidade a qual é também conectada à tira de metal dobrada. As fixações de extremidade, por exemplo, podem ser como as fixações de extremidade usadas normalmente em tubos flexíveis os quais têm adicionalmente sido colocados para fixar a extremidade da fibra óptica.

Em uma configuração o arranjo do sensor inclui um ou mais linhas de transmissão. Uma ou mais dessas linhas de transmissão pode ser substituída em uma dobra da dita tira de metal dobrada.

Em uma configuração o arranjo de sensor inclui um ou mais fios elétricos. Esses fios elétricos podem, por exemplo, ser colocados em uma dobra da dita tira de metal dobrada.

O arranjo de sensor seria de preferência capaz de detectar pelo menos uma propriedade, de preferência selecionada a partir do grupo de fadiga por tensão, temperatura, vazamento de tubo, desgaste, deformações mecânicas, por exemplo, os quais podem levar a empenamento de sublevação,

pressão, corrosão química, concentração de sal do líquido em contato com o tubo e valor do PH do líquido em contato com o tubo.

A camada de blindagem dentro da qual o arranjo de sensor é integrado pode ser uma camada de blindagem intertravada ou pode ser uma camada não intertravada ou apenas parcialmente intertravada. Uma camada de blindagem intertravada significa que fio(s) enrolado(s) individualmente é/são intertravados a) para si mesmo em voltas sucessivas se a camada de blindagem tiver apenas um fio, ou b) uma para a outra se a camada de blindagem tiver mais do que um fio. O(s) fio(s) é/são de preferência intertravados para si mesmo/cada um ao longo de suas seções de borda.

Em uma configuração a camada de blindagem dentro das quais o arranjo do sensor é integrado é uma camada de blindagem não intertravada feita a partir de um ou mais fios incluindo pelo menos uma tira de metal dobrado enrolado helicoidalmente incluindo um arranjo de sensor integrado.

Em uma configuração a camada de blindagem dentro da qual o arranjo do sensor é integrado é uma camada de blindagem parcialmente intertravada feita a partir de um ou mais fios incluindo pelo menos uma tira de metal dobrada enrolada helicoidalmente incluindo um arranjo de sensor integrado. Uma camada de blindagem parcialmente intertravada significa aqui que pelo menos em alguns fios adjacentes de enrolamentos, enrolamentos de fio são intertravados um a outro.

Em uma configuração a camada de blindagem inclui pelo menos uma tira de metal dobrada enrolada helicoidalmente, dita tira de metal sendo intertravada consigo mesma em voltas sucessivas ou intertravadas com um ou mais elemento adicional de metal enrolado helicoidalmente, em que dito elemento de metal enrolado helicoidalmente inclui de preferência uma tira de metal dobrada e/ou um perfil.

Em princípio, a parte integrada do arranjo do sensor pode ser colocada em qualquer dobra da tira de metal dobrada, Ao colocar uma parte

do arranjo de sensor (por exemplo, sensor óptico) na dobra de uma tira. Essa parte do arranjo do sensor será bem protegida pela tira de metal dobrada, e simultaneamente o tubo flexível permanecerá flexível sem risco de danificar o arranjo do sensor. É extremamente simples incorporar uma parte do arranjo do sensor dentro da tira de material dobrada. Isso pode ser feito simplesmente dobrando total ou parcialmente a tira em torno da parte do arranjo do sensor a ser integrada. De acordo com a presente invenção a tira de metal dobrada com o arranjo do sensor pode ser preparada antes da operação de enrolamento da tira de metal dobrada helicoidalmente no tubo. Em uma configuração, o arranjo de sensor pode ser incorporado na tira depois da tira ter sido pré dobrada seguida de uma dobragem final da tira de metal dobrada. Em uma configuração, o arranjo de sensor é incorporado na tira simultaneamente com a operação de dobragem da tira. Em uma configuração o arranjo do sensor é incorporado na tira simultaneamente com a operação de dobragem da tira e enrolando-a helicoidalmente em torno do tubo.

Em uma configuração a tira de metal dobrada para ter pelo menos uma seção de caixa, de preferência, pelo menos uma parte do dito arranjo de sensor sendo colocada na dita seção de caixa.

Tiras dobradas com uma seção de caixa são, por exemplo, descritas em US 6840286, US 6668867, e US 2004/0055550.

Em uma configuração a tira de metal dobrada é dobrada pelo menos ao longo de uma de suas bordas para formar pelo menos uma seção de borda dobrada. De preferência, pelo menos uma parte do dito arranjo do sensor é colocada na dita seção de borda dobrada.

A tira de metal dobrada com uma dobra de borda pode, em princípio, ser dobrada para formar as seções de borda com qualquer forma, sendo provido que elas possam se encaixar com o rebordo lateral do perfil. Em uma configuração, a tira de metal dobrada é dobrada contra ela mesma pelo menos ao longo de uma de suas bordas para formar pelo menos uma

seção de borda projetando-se em uma das direções, para ou para fora do eixo longitudinal do tubo.

Em uma configuração, a tira de metal dobrada é dobrada ao longo de ambas as suas bordas para formar as seções de borda projetando-se em uma das direções para ou para fora do eixo longitudinal do tubo. De preferência, pelo menos uma parte do dito arranjo de sensor é colocada em uma da dita seção de borda dobrada.

A direção de dobragem e a direção de saliência podem ser essencialmente a mesma ou elas podem ser essencialmente opostas uma à outra. A direção de dobragem significa a direção perpendicular para a superfície da parte não dobrada da seção de borda da tira de metal dobrada e em direção à parte dobrada da seção de borda.

Na maioria das situações é desejado que a direção de dobragem e a direção de saliência sejam essencialmente a mesma.

“Uma dobra” significa que a parte da borda é dobrada uma vez para formar uma seção de borda com duas tiras em camadas. A seção de borda com duas tiras em camadas pode, por exemplo, fazer sanduíche em uma parte (por exemplo, um sensor óptico) do arranjo do sensor.

Em uma configuração a pelo menos uma tira de metal dobrada é dobrada pelo menos ao longo de suas bordas em pelo menos uma dobra para formar pelo menos uma seção de borda, de preferência pelo menos ao longo de uma de suas bordas, a pelo menos uma borda sendo dobrada em torno de pelo menos uma parte do dito arranjo do sensor.

Em uma configuração a pelo menos uma tira de metal dobrada é dobrada pelo menos ao longo de suas bordas em pelo menos duas dobras para formar pelo menos uma seção de borda, de preferência pelo menos ao longo de uma de suas bordas a pelo menos duas dobras sendo dobradas em torno pelo menos de uma parte do dito arranjo do sensor.

Em uma configuração a pelo menos uma tira de metal dobrada

é dobrada contra si mesma para formar pelo menos uma seção de borda incluindo duas ou mais camadas de material de tira, de preferência ditas duas ou mais camadas de material de tira sendo dobradas em torno de pelo menos uma parte do dito arranjo de sensor.

5                    Em uma configuração a pelo menos uma tira de metal dobrada é dobrada pelo menos ao longo de suas bordas de forma que dito arranjo de sensor seja parcialmente integrado na dobra.

10                    Em uma configuração a tira de metal dobrada é dobrada pelo menos ao longo de uma de suas bordas de forma que um elemento secundário seja integrado na dobra. Em uma configuração a tira de metal dobrada é dobrada pelo menos ao longo de uma de suas bordas de forma que um elemento secundário seja integrado na dobra ao longo de uma de suas bordas e uma fibra óptica de um arranjo de sensor seja integrada em uma dobra ao longo de outra de suas bordas.

15                    A tira de metal dobrada pode ser dobrada de preferência para formar duas seções de borda e uma seção intermediária não dobrada entre as duas seções de borda.

20                    A seção intermediária não dobrada pode ter em princípio qualquer forma e espessura dentro da limitação de uma tira. Entretanto, em geral, é preferido que a seção intermediária não dobrada seja essencialmente plana a fim de permitir a folga entre perfis encaixados e tiras de metal dobradas.

                      Em uma configuração a seção intermediária não dobrada tem uma espessura essencialmente uniforme.

25                    A espessura ótima da tira de metal dobrada depende grandemente do tamanho do tubo, o uso pretendido do tubo e da força do metal usado na tira de metal dobrada. Se o tubo é grande, a espessura da tira de metal dobrada deveria ser de preferência relativamente grande como também, por exemplo mesmo até 16 mm. Se o tubo for ser usado como um

elevador, a espessura da tira de metal dobrada deve de preferência ser maior do que seria se o tubo for para ser usado como uma linha de fluxo.

Na maioria das situações uma espessura da tira de metal dobrada de cerca de 5 mm ou mesmo de 2 mm é suficiente.

5            Em uma configuração a seção intermediária não dobrada tem uma espessura não dobrada  $T_{ns}$  de 0,2-5mm, tal como 0,2-2mm.

10           Em uma configuração a pelo menos uma tira de metal dobrada tem uma espessura essencialmente uniforme antes da dobragem. Na mesma configuração (provendo para que haja mais que uma tira de metal dobrada) ou em outra configuração a pelo menos uma tira de metal dobrada tem uma espessura que varia na direção da largura.

15           As camadas dobradas da seção de borda da tira de metal dobrada podem, por exemplo, ter uma espessura que seja diferente da seção intermediária não dobrada. Portanto, em uma configuração as camadas dobradas da seção de borda da tira de metal têm uma espessura entre 0,5 e 1,5 vezes a espessura da seção intermediária não dobrada. Em princípio as seções de borda podem, portanto, cada um ter uma espessura de seções de borda  $T_{fs}$  de menos que uma vez a espessura da seção intermediária dobrada  $T_{ns}$ . Entretanto, na prática é desejado que as seções de borda sejam mais finas do  
20           que a seção intermediária  $T_{ns}$ .

              Em uma configuração as seções de borda cada uma tem uma espessura de seção de borda  $T_{fs}$  de 1,5 a 10 vezes a espessura da seção intermediária não dobrada  $T_{ns}$ , tal como 3-4 vezes a espessura da seção intermediária não dobrada  $T_{ns}$ .

25           Em uma configuração a camada de blindagem inclui duas ou mais tiras de metal dobrada as quais são intertravadas uma com a outra.

              A tira de metal dobrada pode, em princípio ser feita de qualquer metal o qual pode ser dobrado e o qual tem uma força suficiente para prender perfis juntos por encaixe como descrito acima, de preferência, a tira

de metal dobrada é feita de uma nobreza relativamente alta. De preferência, metais para a tira de metal dobrada incluem aço e liga de aço, por exemplo, aço duplex.

5 Em uma configuração a camada de blindagem inclui pelo menos uma tira de metal dobrada e pelo menos um perfil o qual é intertravado com cada outro.

10 Em uma configuração a camada de blindagem incorporando o arranjo de sensor pode ser como descrita no pedido pendente do requerente, DK PA 2006 01706 a partir do qual esse presente pedido de patente reivindica prioridade. A camada de blindagem deve, portanto incluir pelo menos um fio perfilado e pelo menos uma tira de metal dobrada, dita pelo menos um fio perfilado e dito pelo menos uma tira de metal dobrada sendo helicoidalmente enrolados e intertravados um com outro e pelo menos uma parte do arranjo de sensor sendo colocada em uma dobra da tira de metal dobrada. O perfil (fio perfilado) pode ser como descrito na PA 2006 01706. A tira de metal dobrada pode ser como descrita em PA 2006 01706 com a provisão de que pelo menos uma parte do arranjo do sensor seja colocada em uma dobra da tira de metal dobrada.

20 O perfil nessa configuração pode ser, a princípio, de qualquer material que tenha a força suficiente para prover uma camada de blindagem. O material para o perfil pode, por exemplo, ser selecionado a partir do grupo que consiste de materiais e metais compostos. Em uma configuração o perfil é de metal, tal como aço ou uma liga de aço, por exemplo, um aço duplex.

25 Em uma configuração a camada de blindagem incorporando o arranjo de sensor pode ser como descrito no pedido de patente dinamarquesa do requerente arquivado simultaneamente com este pedido. A camada de blindagem pode, portanto incluir pelo menos uma tira de metal dobrada, cuja tira de metal dobrada é intertravada com ela mesma em voltas consecutivas ou intertravada com outra tira de metal enrolada helicoidalmente, dita pelo

menos uma tira de metal dobrada ao longo de ambas as suas bordas para formar seções de borda projetando-se de duas ou mais camadas de material de tira, cada uma das ditas seções de borda salientes projetando-se em uma das direções para ou para fora do eixo longitudinal do tubo. A tira de metal dobrada pode ser descrita no pedido de patente do requerente Dinamarquês arquivado simultaneamente com esse pedido com a provisão que pelo menos uma parte do arranjo de sensor está colocada em uma dobra da tira de metal dobrada.

10 O arranjo do sensor pode de preferência ser pelo menos parcialmente fixado em pelo menos uma dobra da tira de material dobrado. Ao fixar o arranjo do sensor na tira de metal dobrada o arranjo do sensor pode ser mesmo adicionalmente protegido contra danos. Algum arranjo de sensor precisa ser fixado a pelo menos um ponto para executar suas medidas, por exemplo, sensores de fadiga por tensão.

15 Em uma configuração o arranjo do sensor é fixado ao longo da maior parte do comprimento da dita tira de metal dobrada.

Em uma configuração pelo menos uma parte do dito arranjo de sensor é fixado a uma pluralidade de pontos fixos ao longo do comprimento da dita tira de metal dobrada.

20 O arranjo do sensor pode ser fixado usando quaisquer dispositivos. Em uma configuração pelo menos uma parte do arranjo do sensor é fixada por sujeição provida pela tira de metal dobrada. Em uma configuração pelo menos uma parte do arranjo do sensor é fixada por cola à dita tira de metal dobrada.

25 A colagem pode ser provida por qualquer cola a qual seja compatível com o material da tira e com o material do sensor. A cola pode, de preferência, ser ou incluir um material de polímero. Tipos preferidos de polímeros para o material de polímero são do tipo de epóxi, um epóxi éster vinil, um poliuretano ou misturas contendo uma ou mais desses tipos. Ditos

polímeros preenchem as exigências do líquido de acordo com a invenção. Entretanto, outros líquidos preenchendo as exigências podem também ser usados de acordo com a invenção. A pessoa qualificada estará apta a selecionar líquidos adequados a ser usados de acordo com a invenção como  
5 uma matéria de rotina. O material de polímero pode de preferência ser fluorados completa ou parcialmente. Tal tratamento pode melhorar as propriedades do material de polímero em relação a resistência ao uso, resistência química e resistência em relação às temperaturas elevadas.

Além do mais, é preferido que o material de polímero seja  
10 unido transversalmente completa ou parcialmente. Reticulação pode aumentar a força e pode ser iniciada por calor, peróxidos ou outras químicas como, por exemplo, compostos sulfúricos.

Em uma configuração o tubo flexível inclui uma camada interna de blindagem (carcaça) circundada pela dita bainha interna, pelo  
15 menos uma parte do arranjo do sensor sendo integrada na dita camada de blindagem interna.

Em uma configuração o tubo flexível inclui uma camada de blindagem externa circundando dita bainha interna, pelo menos uma parte do dito arranjo de sensor sendo integrada na dita camada de blindagem externa.  
20 A camada de blindagem externa pode ser, por exemplo, uma camada de blindagem tensiva, camada de blindagem de pressão (abóbada de pressão) e/ou uma tração balanceada e camada de blindagem de pressão.

Em uma configuração, uma das camadas de blindagem é uma camada de blindagem intertravada formada a partir d pelo menos um perfil e  
25 pelo menos uma tira de metal dobrada incluindo pelo menos uma parte incorporada de um arranjo de sensor. Isso poderia ser de preferência uma camada de blindagem interna ou poderia ser uma camada de blindagem externa mais interna, por exemplo, uma abóbada.

Em uma configuração duas ou mais das camadas de blindagem

são camadas de blindagem intertravadas, cada uma formada a partir de pelo menos um perfil e pelo menos uma tira de metal dobrada incluindo pelo menos uma parte incorporada de um arranjo de sensor. Isso poderia incluir de preferência uma camada de blindagem interna e/ou uma camada de blindagem externa mais interna, por exemplo, uma abóbada.

O perfil em qualquer camada blindada tem em princípio qualquer forma perfilada. Formas preferidas do perfil incluem as formas dos perfis como descoberto em qualquer uma das publicações US 6691743, US 6668867, US 5813439, WO 0242674, US 5730188, US 6354333. US 4549581, US 6192941, US 6283161, WO 0181809, WO 0036324, US 6454897, US 6408891 e US 6110550. Preferivelmente o(s) perfil(s) tem/têm um perfil selecionado a partir do grupo que consiste de perfis em forma de Z, perfis em forma de U, perfis em forma de X, perfis em forma de I, perfis em forma de H e perfis em forma de T.

#### 15 BREVE DESCRICAO DOS DESENHOS.

A invenção será explicada agora mais completamente abaixo, em conexão com uma configuração preferida e com referencia aos desenhos, nos quais:

20 Fig. 1 é uma vista lateral esquemática de um tubo com uma carcaça.

Fig. 2 é uma vista lateral esquemática de um tubo com uma carcaça.

25 Figs 3a – 3h são vistas laterais esquemáticas transversais seccionais de uma tira de metal dobrada diferente com arranjo(s) de sensor, que pode(m) ser uma parte de uma camada de blindagem do tubo flexível da invenção.

Fig. 4 é uma vista lateral seccional transversal esquemática de uma primeira camada de blindagem incluindo uma tira de metal dobrada com um arranjo de sensor.

Fig. 5 é uma vista lateral seccional transversal esquemática de uma segunda camada de blindagem incluindo uma tira de metal dobrada com um arranjo de sensor.

5 Fig. 6 é uma vista lateral seccional transversal esquemática de uma terceira camada de blindagem incluindo uma tira de metal dobrada com um arranjo de sensor.

As figuras são esquemáticas e simplificadas para explicar melhor, e elas mostram apenas detalhes que são essenciais para o entendimento da invenção, enquanto outros detalhes são deixados de fora.  
10 Continuando, os mesmos numerais de referencia são usados para partes idênticas ou correspondentes.

O tubo flexível mostrado na Fig. 1 inclui uma bainha interna 2, frequentemente também chamada de um revestimento interno, por exemplo, de PE reticulado. Dentro do revestimento interno 2 o tubo inclui uma camada  
15 de blindagem interna 1, chamada de uma carcaça. No lado externo do revestimento interno 2, o tubo flexível inclui três camadas de blindagem externas 3, 4, 5. A camada de blindagem interna 3 mais perto do revestimento interno 2, é uma camada de blindagem de pressão 3, feita de perfis e/ou tiras enroladas em um ângulo inclinado para o eixo central do tubo, por exemplo,  
20 perto de 90 graus. Ao redor da camada de blindagem de pressão 3 os tubos incluem um par de camadas de blindagem elásticas transversais enroladas 4,5 feitas de perfis enrolados e/ou tiras, em que uma das camadas blindadas elásticas 4 tem um ângulo acima de 55 graus, geralmente entre 60 e 75 graus, e em que a outra das camadas de blindagem elástica 5 tem um ângulo abaixo  
25 de 55 graus, geralmente entre 30 e 45 graus. O tubo inclui adicionalmente uma camada de polímero externa 6 protegendo a camada de blindagem mecanicamente e/ou contra a entrada de água do mar.

Pelo menos uma das camadas de blindagem 2, 3, 4, 5 inclui pelo menos uma tira de metal dobrada com um arranjo de sensor como

descrito acima.

A Fig. 2 mostra outro projeto de tubo. O tubo flexível inclui um revestimento interno 12 e um par de camadas de blindagem interna, 14, 15 na forma dos perfis e/ou tiras enroladas ao redor do revestimento interno 12. As duas camadas de blindagem são enroladas transversais em um ângulo para o eixo central do tubo perto de 55 graus, por exemplo, entre 52 e 55 graus, e a outra delas é enrolada em um ângulo levemente maior do que 55 graus por exemplo entre 55 e 57. O tubo inclui adicionalmente uma camada de polímero externa 16 protegendo a camada blindada mecanicamente e/ou contra a entrada de água do mar.

Pelo menos uma das camadas de blindagem 14, 15 inclui pelo menos uma tira de metal dobrada com um arranjo de sensor como descrito acima.

Fig. 3a mostra uma vista lateral seccional transversal de uma tira de metal dobrada útil em uma abóbada de pressão do tubo da invenção. A tira de metal é dobrada para formar duas seções de borda 31a, 31a', ambas projetando-se na mesma direção, principalmente na direção oposta da direção de dobragem. A tira de metal é dobrada contra si mesma em duas dobras ao longo de suas bordas 31 a'. Ao longo de sua outra borda a tira de metal dobrada é dobrada em torno de uma fibra 36 a de um arranjo de sensor. A tira inclui adicionalmente uma seção intermediária não dobrada 32a, entre as duas seções de borda 31a, 31a'.

A fig. 3b mostra uma visão lateral seccional transversal de outra tira de metal dobrada. A tira de metal é dobrada para formar duas seções de borda 31b, 31b', ambas projetando-se na direção de dobragem. A tira de metal é dobrada contra si mesma em duas dobras ao longo de uma de suas bordas 31b'. Ao longo de sua outra borda a tira de metal dobrada é dobrada em torno de uma fibra 36b de um arranjo de sensor.

Figura 3 c mostra uma visão lateral seccional transversal de

outra tira de metal dobrada. A tira de metal é dobrada para formar duas seções de borda 31c, 31c', ambas projetando-se na direção de dobragem. A tira de metal é dobrada contra si mesma em três dobras ao longo de uma de suas bordas 31c'. Ao longo de sua outra borda a tira de metal dobrada é dobrada em torno de uma fibra 36c de um arranjo de sensor em duas dobras.

Fig. 3d mostra uma visão lateral seccional transversal de outra tira de metal dobrada. A tira de metal é dobrada para formar duas seções de borda 31d, ambas projetando-se na direção de dobragem. A tira de metal é dobrada contra si mesma ao longo de suas bordas em três dobras para cada uma das seções de borda 31d em que cada seção de borda projetando-se 31d tem 4 ou mais camadas de material de tira. Na seção intermediária entre as duas seções de borda 31d, a tira de metal dobrada inclui uma dobra em forma de caixa 32d dentro da qual uma fibra 36d de um arranjo de sensor foi incorporada.

Fig. 3e mostra uma visão lateral seccional transversal de outra tira, onde a tira de metal é dobrada para formar duas seções de borda 31e, 31e', ambas projetando-se na mesma direção. A tira de metal é em cada uma de suas seções de borda 31e, 31e' dobrada contra um elemento secundário 35e, 36e, cujos elementos são aqui integrados na dobra. Um dos elementos secundários é um elemento reforçado 53 e, o outro dos elementos secundários é uma fibra 36e de um arranjo de sensor.

Fig. 3f mostra uma visão lateral seccional transversal de outra tira de metal dobrada. Essa tira dobrada não inclui qualquer seção de borda saliente para fins de intertravamento e é, portanto para ser aplicada em uma camada de blindagem não intertravada ou parcialmente intertravada. A tira de metal é para formar duas seções em forma de caixa 31f. Na seção intermediária entre as duas seções em forma de caixa 31f, a tira de metal é dobrada para formar dois pares de topos salientes opostos 32f cujos topos 32f prendem e possivelmente fixam uma fibra 36f de um arranjo de sensor.

Fig. 3g mostra uma visão lateral seccional transversal de outra tira de metal dobrada. Essa tira dobrada não inclui qualquer seção de borda saliente para fins de intertravamento e é, portanto para ser aplicada em uma camada de blindagem não intertravada ou parcialmente intertravada. A tira de metal é para formar uma forma de caixa 31g. Na seção intermediária entre as duas bordas da tira dobrada em forma de caixa, a tira de metal é dobrada contra si mesma para formar uma dobra 32g dentro da qual uma fibra 36g de um arranjo de sensor foi incorporada.

Fig. 3h mostra uma visão lateral seccional transversal de outra tira de metal dobrada. Essa tira dobrada não inclui qualquer seção de borda saliente para fins de intertravamento e é, portanto para ser aplicada em uma camada de blindagem não intertravada ou parcialmente intertravada. A tira de metal é para formar uma forma de caixa 31h. Adjacente a uma das duas bordas da tira dobrada em forma de caixa, a tira de metal é dobrada contra si para formar uma dobra 32h dentro da qual uma fibra 36h de um arranjo de sensor foi incorporada.

Fig. 4 mostra uma primeira camada de blindagem de um tubo flexível da invenção incluindo tiras dobradas intertravadas enroladas helicoidalmente 41, 42. A camada de blindagem inclui 2 ou mais (um número par – no desenho pelo menos 4) tiras de metal dobradas 41, 42 onde metade das tiras de metal dobradas 41 é dobrada para ter duas dobras em forma de caixa 44, e a outra metade das tiras de metal dobradas 42 são apenas levemente dobradas ao longo de suas bordas 43 para prender juntas voltas sucessivas do primeiro tipo de tira de metal dobrada 41. Em uma das dobras em forma de caixa de uma das tiras de metal dobradas 41 foi colocada uma fibra 46 de um arranjo de sensor.

Fig. 5 mostra uma segunda camada de blindagem de um tubo flexível da invenção incluindo uma ou mais tiras dobradas intertravadas helicoidalmente enroladas 51 (no desenho, pelo menos 3). A(s) tira(s)

enroladas helicoidalmente 51 incluem uma dobra em forma de caixa 54 ao longo de uma de suas bordas e uma dobra levemente dobrada 53 ao longo de outra borda. Na sua seção intermediária a(s) tira(s) enroladas helicoidalmente 51 incluem uma ranhura 57 a qual é intertravada com a dobra levemente dobrada 53 de outra tira de metal dobrada. Na dobra em forma de caixa 54 de uma das tiras de metal dobrada 51 foi colocada uma fibra 56 de um arranjo de sensor.

Fig. 6 mostra uma terceira camada de blindagem de um tubo flexível da invenção incluindo tiras dobradas intertravadas 61a, 61b. A camada de blindagem inclui 2 ou mais (um número par) de tiras de metal dobradas 61a, 61b. Pelo menos uma das tiras de metal dobradas 61b é como a tira de metal dobrada incluindo uma fibra incorporada 66 de um arranjo de sensor. As tiras de metal dobradas 61a, 61b são giradas opostas uma à outra de forma que metade das tiras de metal dobradas 61 a e 61b inclui seções de borda de projeção 62 projetando-se na direção do núcleo oco do tubo e a outra metade das tiras de metal dobradas 61a, 61b compreende seções de borda de projeção 63 projetando-se para fora do eixo longitudinal do tubo (aqui o núcleo oco) As tiras de metal dobradas 61a, 61b são helicoidalmente enroladas no tubo, de forma que as seções de borda 63 projetando-se para fora do núcleo oco do tubo são intertravadas com a s seções de borda salientes de projeção 62 projetando-se em direção do núcleo oco do tubo. A(s) tira(s) de metal 61b incluem uma fibra integrada 66, a qual é dobrada dentro de uma de suas seções de borda salientes. A camada de blindagem de pressão inclui uma camada de arco provida por um fio enrolado helicoidalmente 65 (fio de arco), o qual nessa configuração é feito de uma tira formada como uma tira de metal, a qual foi formada para ter uma ou mais seções de caixa 65a. O fio de arco 65 aumenta o momento de inércia.

Fig. 1

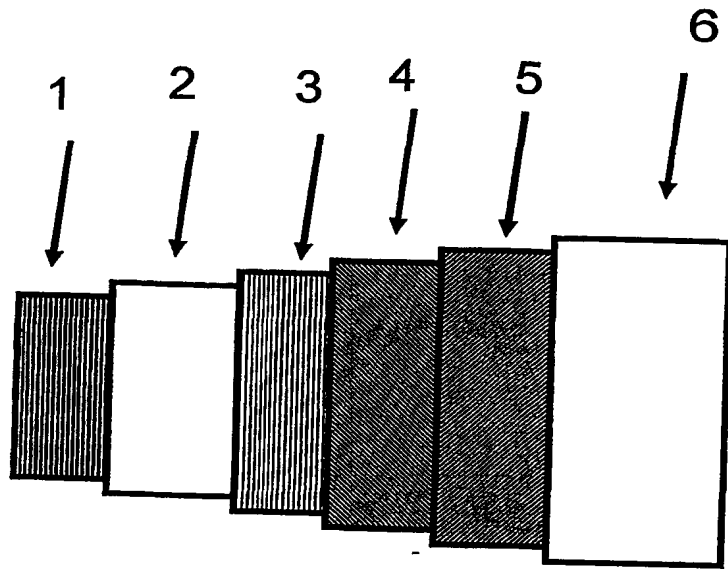


Fig. 2

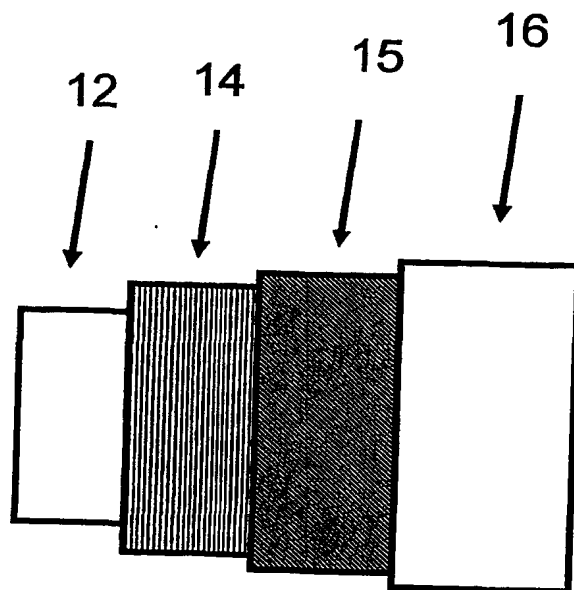


Fig. 3a

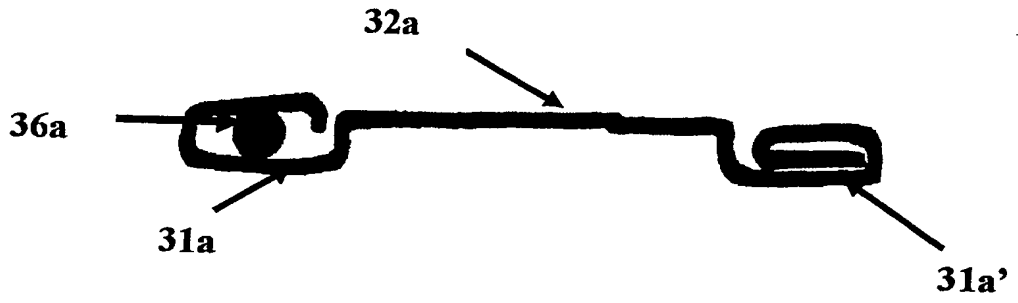


Fig. 3b

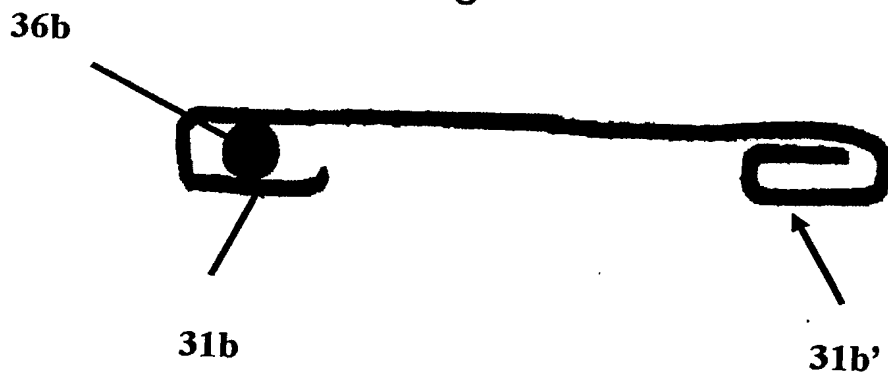


Fig. 3c

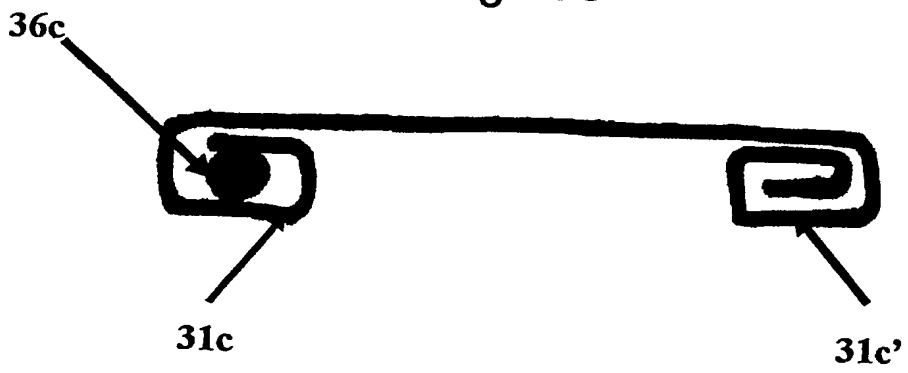


Fig. 3d

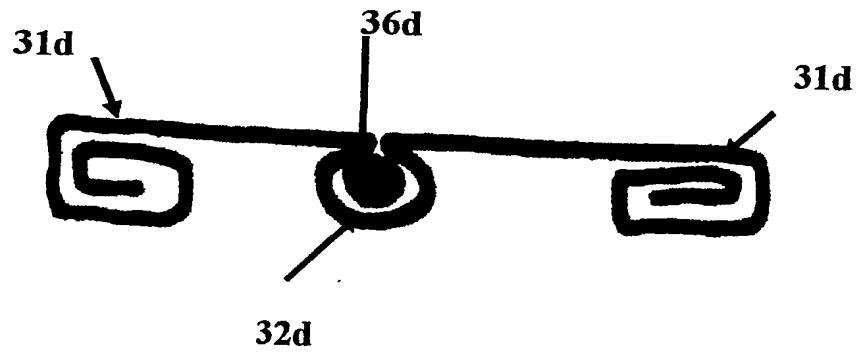


Fig. 3e

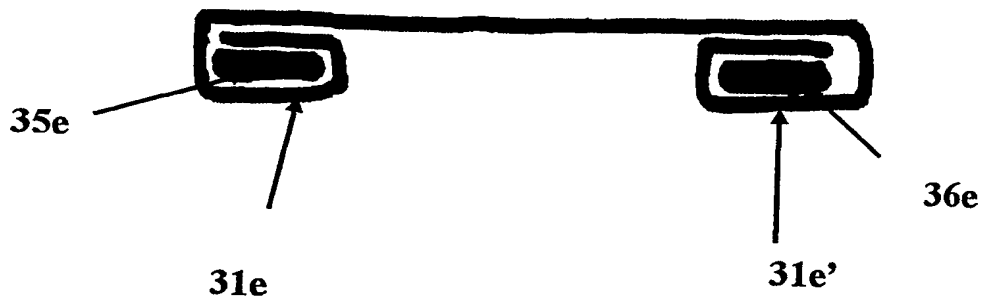


Fig. 3f

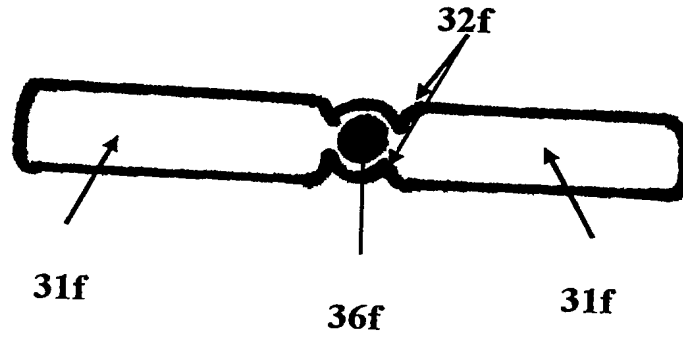


Fig. 3g

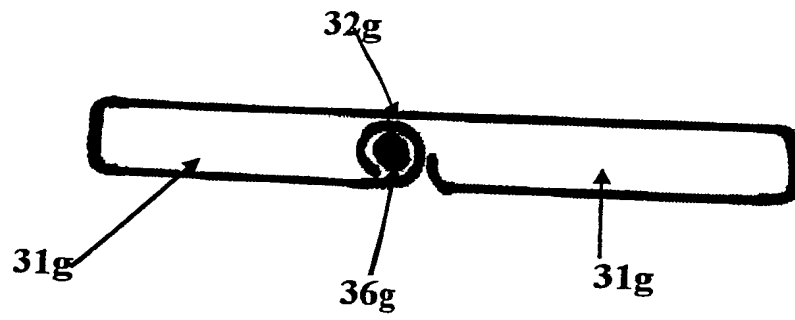


Fig. 3h

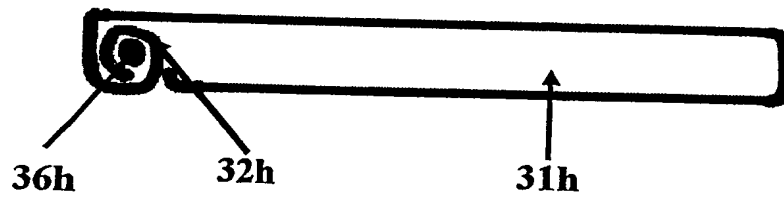


Fig. 4

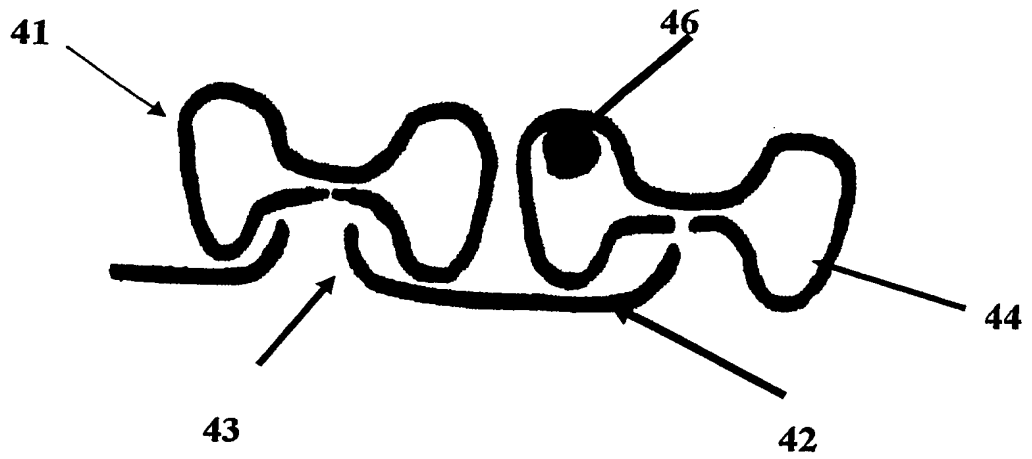


Fig. 5

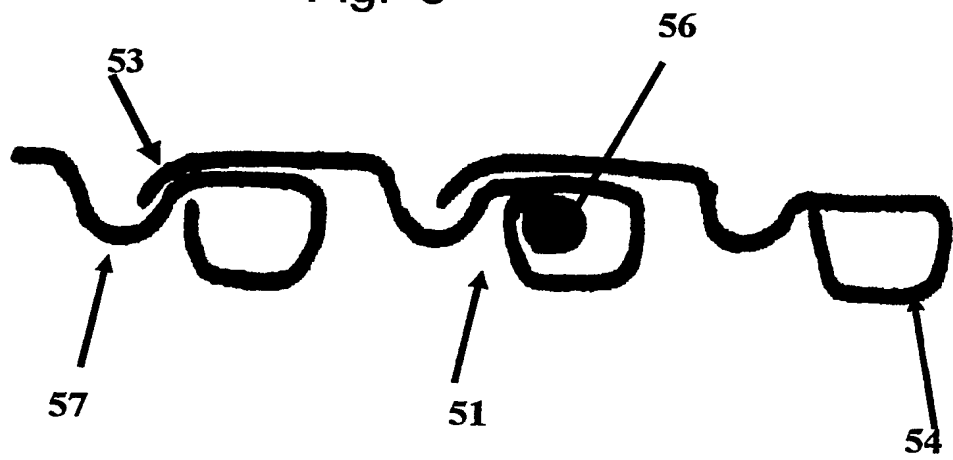
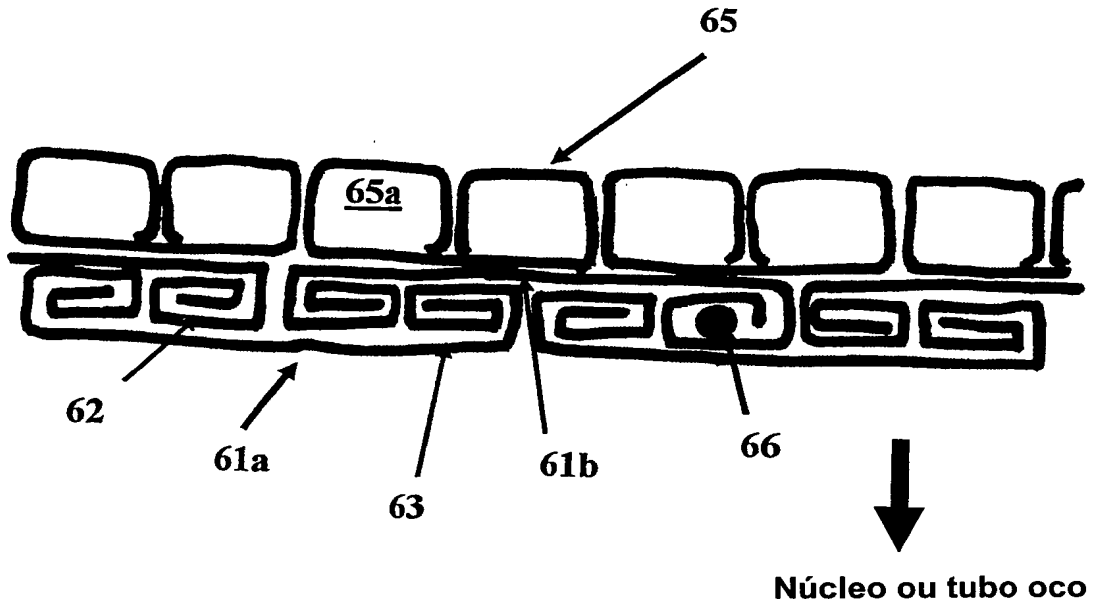


Fig. 6



RESUMO

## “TUBO FLEXÍVEL”

A invenção se refere a um tubo flexível que inclui uma pluralidade de camadas circundando um eixo longitudinal e pelo menos um arranjo de sensor parcialmente integrado. A pluralidade de camadas que inclui uma bainha interna e uma ou mais camadas de blindagem, pelo menos uma camada de blindagem incluindo pelo menos uma tira de metal dobrada helicoidalmente enrolada em torno do dito eixo longitudinal do tubo, pelo menos uma parte do dito arranjo do setor sendo colocada em uma dobra da dita tira de metal dobrada, o arranjo do setor inclui de preferência uma fibra óptica a qual é colocada na dobra da dita tira de metal dobrada. Por esse tubo flexível com um arranjo de sensor, o arranjo de sensor pode ser incorporado dentro de uma camada de blindagem de uma maneira simples e segura. O arranjo de sensor pode ser, por exemplo, capaz de detectar pelo menos uma propriedade, selecionada dentro do grupo de fadiga por tensão, temperatura, vazamento do tubo, desgaste, deformações mecânicas, pressão, corrosão química, concentração de sal do líquido em contato com o tubo e valor do PH do líquido em contato com o tubo.