



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102015013448-7

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102015013448-7

(22) Data do Depósito: 09/06/2015

(43) Data da Publicação Nacional: 24/01/2017

(51) Classificação Internacional: G01L 1/12; F16L 55/00.

(54) Título: MÉTODO PARA DETECÇÃO DE TENSÃO MECÂNICA E SISTEMA PARA DETECÇÃO DE TENSÃO MECÂNICA EM TUBOS DISPOSTOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS

(73) Titular: FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL. CGC/CPF: 88648761000103. Endereço: R. Francisco Getúlio Vargas 1130, Bloco A, Sala 301, Caxias do Sul, RS, BRASIL(BR), 95070560; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Endereço: Av. Paulo Gama, 110, CENTRO, Porto Alegre, RS, BRASIL(BR), 90040-060

(72) Inventor: FRANK PATRICK MISSELL; THOMAS GABRIEL ROSAURO CLARKE.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 09/06/2015, observadas as condições legais

Expedida em: 14/06/2022

Assinado digitalmente por:

Alexandre Dantas Rodrigues

Diretor Substituto de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados



Relatório Descritivo de Patente de Invenção

MÉTODO PARA DETECÇÃO DE TENSÃO MECÂNICA E SISTEMA PARA DETECÇÃO DE TENSÃO MECÂNICA EM TUBOS DISPOSTOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção descreve um método de detecção de tensões mecânicas utilizando efeito magnetoelástico e, ainda, um sistema para detecção de tensões mecânicas em questão, em tubos dispostos em ambientes aquáticos. A presente invenção se situa nos campos das engenharias mecânica, naval, e petrolífera.

Antecedentes da Invenção

[0002] Estruturas e componentes mecânicos são normalmente submetidos a stress mecânico, nos quais estão projetados para suportar um limite definido, no entanto, sabe-se que, quando o stress mecânica aplicado é maior do que o limitado no projeto, a estrutura ou o componente mecânico acaba se rompendo, ou danificando e até quebrando.

[0003] Para identificar e tentar impedir que ocorra uma danificação na estrutura analisada são utilizados os chamados sensores de tensão. Os referidos sensores de tensão são de suma importância, pois permitem que a tensão sofrida pela estrutura seja detectada e comparada com a tensão máxima que a dita estrutura suporta.

[0004] Atualmente, os sensores para a detecção de stress mecânicos são baseados em uma propriedade dos materiais chamada magnetostricção. Magnetostricção é um fenômeno que, devido à orientação dos momentos magnéticos do material, permite a variação nas dimensões do dito material em função da aplicação de um campo magnético.

[0005] Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema.

[0006] O documento “*Wireless Magnetoelastic Resonance Sensors: A Critical Review*”, autoria de *Grimes C. A., et al*, descreve artigo diferentes métodos de medição de stress mecânico aplicado em um determinado material, sendo utilizados bobinas de excitação e bobinas sensoras. Tal solução, no entanto, proporciona um dispositivo para aplicação em locais de fácil acesso, tal como bancadas, fornecendo um dispositivo sem proteção para a utilização em ambientes com alta intensidade de pressão e altos níveis de tensões mecânicas. Assim, o artigo não descreve, nem sequer sugere, que sensor estudado seja utilizado em condições extremas, como para o monitoramento de tensão em *risers* ou nos cabos de aço de *risers*.

[0007] O documento WO 2014/058336 descreve um dispositivo para o monitoramento das paredes de estruturas mecânicas sujeitas à erosão, tal como um duto, através de um elemento magnetoelástico. No entanto, a solução apresentada mostra um dispositivo que prevê a detecção de uma redução na espessura das paredes do duto em questão, assim, a solução proposta não detecta e previne o rompimento do duto, de forma que a substância transportada no duto prejudique o meio em que o duto se encontra, causando impactos ambientais.

[0008] O documento US 2011/0232392 descreve um sensor de tensão magnetoelástico em que detecta a tensão mecânica aplicada em um determinado material, utilizando fitas com propriedades magnetostrictivas. Tal solução, no entanto, apresenta um sensor para baixa imunidade, inviabilizando sua utilização em aplicações para medição de elevadas tensões mecânicas, sem ser danificado.

[0009] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da

presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

[0010] As soluções encontradas no estado da técnica apresentam baixa resistência e durabilidade quando expostos à condições de medição de tensões mecânicas elevadas, sem que se rompa. Ademais, nenhuma das soluções do estado da técnica são voltadas à impedir que uma estrutura seja danificada, ou seja, apenas detectam se a estrutura já foi danificada, que em alguns casos, ocasiona em efeitos catastróficos. Nenhuma das soluções, ainda, prevê o uso de tais sensores para monitorar o estado de cabos de aço de *risers*.

Sumário da Invenção

[0011] Dessa forma, a presente invenção tem por objetivo resolver os problemas constantes no estado da técnica a partir do desenvolvimento de um método para a detecção de elevadas tensões mecânicas aplicadas em estruturas mecânicas, e em atividades críticas, tal como o transporte de substâncias tóxicas, além de permitir operação *wireless* do sensor.

[0012] Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um método para detecção de tensão mecânica compreendendo as seguintes etapas:

- a. acoplar ao menos um ímã (2) em uma superfície de material a ser monitorado;
- b. dispor ao menos uma fita amorfa (1) próxima ao ímã (2), de modo que ao menos uma região da fita amorfa (1) seja capaz de vibrar livremente próxima ao ímã (2);
- c. dispor ao menos um conjunto de bobinas (8) próximo à fita amorfa (1);
- d. aplicação de um campo magnético através do conjunto de bobinas (8), em que o campo magnético excita a fita amorfa (1);

e. medir a frequência de vibração da fita amorfa (1) para detecção do estado de tensão do imã (2).

[0013] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um sistema para detecção de tensões mecânicas em estrutura disposta em ambientes aquáticos, compreendendo:

- a. ao menos um imã (2) acoplado a ao menos um fio de aço da armadura de tração (4);
- b. ao menos uma fita amorfa (1) disposta próxima ao imã (2); e
- c. ao menos um conjunto de bobinas (8) próximo à fita amorfa (1) impondo um campo magnético para excitação da fita amorfa (1).

[0014] Ainda, o conceito inventivo comum a todos os contextos de proteção reivindicados é o desenvolvimento de um método para a medição e detecção de tensão mecânica em dispositivos que se encontram em ambientes de difícil acesso, tal como, o fundo do mar, a partir do método *wireless* de detecção de propriedades magnetoelásticas.

[0015] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0016] Com o intuito de melhor definir e esclarecer o conteúdo do presente pedido de patente, são apresentadas as seguintes figuras:

[0017] A figura 1 mostra uma seção transversal de um *riser*, a partir de uma concretização da presente invenção.

[0018] A figura 2 mostra um diagrama de blocos de montagens para testes em laboratórios.

[0019] A figura 3 mostra uma vista em detalhe do conjunto de bobinas (8), empregado em uma concretização da presente invenção.

Descrição Detalhada da Invenção

[0020] As descrições que se seguem são apresentadas a título de exemplo e não limitativas ao escopo da invenção e farão compreender de forma mais clara o objeto do presente pedido de patente.

[0021] Em um primeiro objeto a presente invenção revela um método para a medição e detecção de tensões mecânicas em estruturas mecânicas, tal como um fio de aço, utilizando ao menos uma imã (2) acoplado ao material, ou estrutura, que se deseja realizar a detecção. A referido imã (2), em uma realização da invenção, é confeccionado a partir de uma liga ferromagnética, tendo, em muitos casos, a forma de uma tira e é definido por um imã semiduro.

[0022] Uma característica da fita amorfa (1) montada próxima ao imã (2) é a capacidade de operar em variadas frequências, dependendo do comprimento da fita, uma vez que suas propriedades permitem tal efeito. Para a aplicação do proposto na presente invenção, tal efeito é de suma importância, devido ao fato de que quando uma estrutura está submetida a sua frequência de ressonância, as amplitudes de vibração sofrida por ela aumentam demasiadamente, implicando em maior facilidade de rompimento da mesma. Assim, é possível detectar se a estrutura está operando em sua frequência de ressonância, a partir do efeito descrito na propriedade da fita amorfa (1).

[0023] Os imãs (2) são colados à peça a ser monitorada, de forma a alongar junto com a mesma. Devido à característica magnetostrictiva dos ímãs, o campo contínuo gerado por eles varia de acordo com o alongamento ao qual são sujeitos.

[0024] O imã (2) é empregado ao material de maneira que fique adjacente à fita amorfa (1), com o propósito de ativar ou desativar a detecção realizada pelo dispositivo descrito na presente invenção. O imã (2), também, quando magnetizado, altera o ponto de ressonância da fita amorfa (1), devido a um efeito denominado “efeito ΔE ”.

[0025] O efeito ΔE é dito como uma dependência do Módulo de Young de um material magnético ao seu estado de magnetização. Quando uma amostra originalmente não magnetizada é saturada, seu módulo aumenta em uma quantidade ΔE . Quando tensão é aplicada a uma amostra, dois tipos de deformação ocorrem, a chamada deformação elástica, assim como ocorre em qualquer substância, e a deformação magnetoelástica devido à reorientação dos vetores dos domínios magnéticos. O cálculo do módulo de Young no estado desmagnetizado dá-se então como visto na seguinte equação 1:

$$E_d = \frac{\sigma}{\varepsilon_{me} + \varepsilon_{el}} \quad [1]$$

[0026] O módulo no estado magnetizado é, portanto, calculado conforme a equação 2:

$$E_s = \frac{\sigma}{\varepsilon_{el}} \quad [2]$$

[0027] Assim, a relação das equações 1 e 2, resulta na equação 3:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{E_s - E_d}{E_d} \quad [3]$$

[0028] Se o ΔE for medido a partir de uma curva tensão-deformação convencional, o nível de stress será razoavelmente grande, e a razão $\Delta E/E$ será uma porcentagem tipicamente pequena. Mas, se ΔE for medido a partir da frequência de ressonância de uma vibração de baixa amplitude, o nível de tensão será muito baixo, e o valor de $\Delta E/E$, até algumas centenas de porcentagem maior.

[0029] A figura 3 representa de maneira esquemática, para facilitar a compreensão do funcionamento da bobina da presente invenção utilizada em fios de cabo de *risers*, uma concretização das possíveis realizações da invenção, onde um conjunto de bobinas (8) é acoplado ao sistema de detecção, sendo o referido conjunto, em que o mesmo é composto por um par de bobinas externas (20), um par de bobinas internas (21) e uma bobina sensora (22), também chamada de *pick up coil*. Em uma concretização o

conjunto de bobinas (8) consiste em duas bobinas de Helmholtz, sendo uma externa e outra interna.

[0030] As bobinas dispostas tem a função de gerar um campo magnético que excita a amostra. A bobina externa (20) gera uma componente contínua (23) de campo, permitindo a variação da frequência de ressonância do elemento ressonador, no caso, a fita amorfa (1). Em uma concretização, o referido conjunto de bobinas (8) é composto por bobinas do tipo geometria planar.

[0031] A figura 2 mostra um esquema de montagem do sistema da presente invenção, utilizado em escala de laboratório, em que o sensor (11) é acoplado a amostra (12), e a mesma é submetida a uma tensão aplicada pelos sistema de pesos(13), suportados pela roldana (16). O conjunto de bobinas (8) consiste em duas bobinas de Helmholtz, uma interna (21) e uma externa (20), e uma bobina sensora (22). Um amplificador (14) é disposto para aumentar o ganho do sinal captado pela bobina sensora (22), e o sinal amplificado é enviado a um computador (15) para a análise dos dados.

[0032] Na figura 1, é visto uma concretização da presente invenção, sendo descrito um duto utilizado em ambientes aquáticos, onde são transportadas substâncias do fundo do mar até a superfície. Em determinadas aplicações, os referidos dutos transportam substâncias tóxicas, que em caso de rompimento do mesmo, acabam por infectar todo o ambiente.

[0033] No exemplo da figura 1, tal duto é concretizado como um *riser*, onde são utilizados para o transporte de petróleo até a superfície. O dito *riser* é composto pelos seguintes elementos, camada externa (3), armadura de tração (4), armadura de pressão (5), carcaça (6) e camada de estanqueidade (7). Para implementar a presente invenção, é adicionado ao menos um ímã (2) à armadura de tração (4) do *riser*. Uma fita amorfa (1) é disposta próxima ao ímã (2) mas de forma que possa vibrar livremente.

[0034] O conjunto de bobinas (8) é colocado com uma determinada distância, aproximadamente 25mm, onde a bobina interna (21) aplica um

campo magnético, de componente alternada (24), de frequência variável excitando a fita amorfa (1), fazendo com que a mesma realize uma vibração. Tal vibração, é detectada pela bobina sensora (22), assim determina-se a frequência de maior amplitude, sendo essa a frequência de ressonância, determinando a integridade do cabo, ou *riser*.

Exemplo 1. Realização Preferencial

[0035] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

[0036] A presente invenção mostra um método de detecção de tensões mecânicas em *risers* para a condução de petróleo até a plataforma, ou superfície. Com isso, caso ocorra um rompimento dos *risers*, todo o petróleo sendo transportado é despejado no oceano, causando expansivos impactos ambientais. A partir de estudos em acidentes com *risers*, concluiu-se que, a maioria dos acidentes com *risers* ocorrem no ponto em que o *riser* se liga à plataforma.

[0037] Assim, para o monitoramento da integridade do *riser*, é implementado o método aqui descrito nas proximidades da interligação do *riser* com a plataforma, de forma que, um ímã (2) de material ferromagnético, é acoplado à armadura de tração (4) e, próximo ao ímã (2) seja disposta uma fita amorfa (1) que possa vibrar sem obstrução. O ímã (2), quando magnetizado, altera o ponto de ressonância da fita amorfa (1).

[0038] Um conjunto de bobinas (8) é mantido em proximidade da fita amorfa (1), e a bobina de Helmholtz interna (21) é alimentada de forma que aplica um campo magnético alternado (24) de frequência variável. Este campo é responsável por excitar a fita amorfa (1) colocando a mesma em vibração. A bobina sensora (22), de geometria planar, capta as vibrações da fita amorfa (1) e devido à variação da frequência, é determinada a frequência de ressonância do mesmo, de forma que o sinal captado com a maior amplitude é descrito

como a frequência de ressonância do meio. Com isso, é determinada a integridade do *riser*, verificando se houve ou não um rompimento do mesmo, partir do conhecimento da frequência de ressonância do próprio *riser*, comparando-a com a frequência da fita amorfa (1).

[0039] De um modo preferencial, o sistema da presente invenção é aplicado em cabos de aço que formam os *risers*, de modo que o monitoramento dos mesmos possibilite detectar o estado de vida dos mesmos e antecipar a ocorrência de falhas catastróficas.

[0040] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

Reivindicações

1. Método para detecção de tensão mecânica **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas de:

a. acoplar ao menos um ímã (2) em uma superfície de material a ser monitorado;

b. dispor ao menos uma fita amorfa (1) próxima ao ímã (2), de modo que ao menos uma região da fita amorfa (1) seja capaz de vibrar livremente próxima ao ímã (2);

c. dispor ao menos um conjunto de bobinas (8) próximo à fita amorfa (1);

d. aplicação de um campo magnético através do conjunto de bobinas (8), em que o campo magnético excita a fita amorfa (1);

e. medir a frequência de vibração da fita amorfa (1) para detecção do estado de tensão do ímã (2);

em que o conjunto de bobinas (8) compreende:

- um par de bobinas externas (20) gerando componente contínua (23) de campo magnético;

- um par de bobinas internas (21) gerando componente alternada (24) de campo magnético; e

- uma bobina sensora (22).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da fita amorfa (1) operar em uma frequência de ressonância relativa à frequência de ressonância do material.

3. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, **caracterizado** pelo fato do ímã (2) ser acoplado de maneira adjacente à fita amorfa (1).

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato das bobinas do conjunto de bobinas (8) ser de geometria planar.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do ímã (2) alterar a ressonância da fita amorfa (1), através do efeito ΔE .
6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo fato do referido material ser um duto.
7. Sistema para a detecção de tensões mecânicas em estrutura disposta em ambientes aquáticos, em que o sistema compreende meios para operar por um método de detecção de tensão mecânica conforme definido na reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de compreender:
 - a. ao menos um ímã (2) acoplado a ao menos um fio de aço da armadura de tração (4);
 - b. ao menos uma fita amorfa (1) disposta próxima ao ímã (2); e
ao menos um conjunto de bobinas (8) próximo à fita amorfa (1) impondo um campo magnético para excitação da fita amorfa (1), em que o conjunto de bobinas (8) compreende:
 - um par de bobinas externas (20) gerando componente contínua (23) de campo magnético;
 - um par de bobinas internas (21) gerando componente alternada (24) de campo magnético; e
 - uma bobina sensora (22).
8. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato da estrutura disposta em ambientes aquáticos ser *risers* de instalações de exploração de petróleo.
9. Sistema, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato da estrutura mecânica ser os cabos de aço que formam o *riser*.

FIGURAS

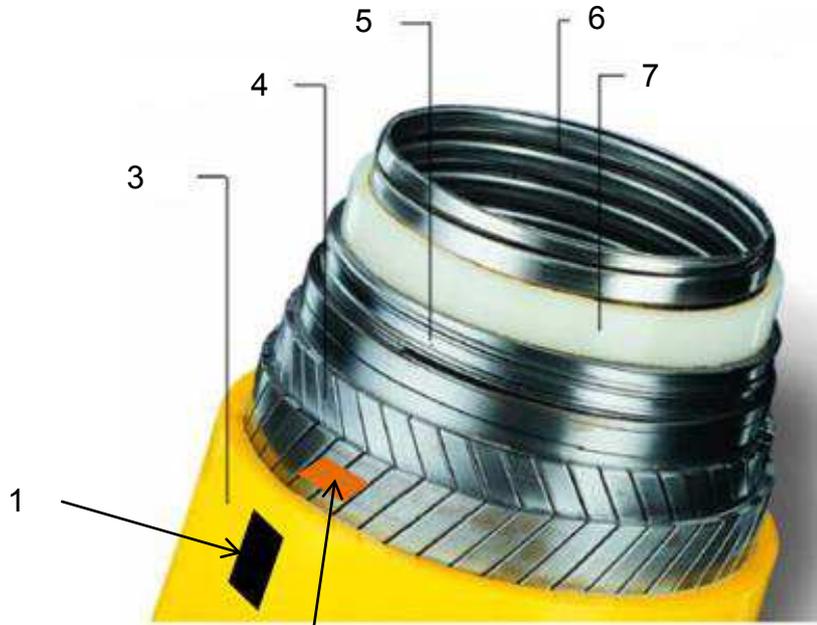


Figura 1

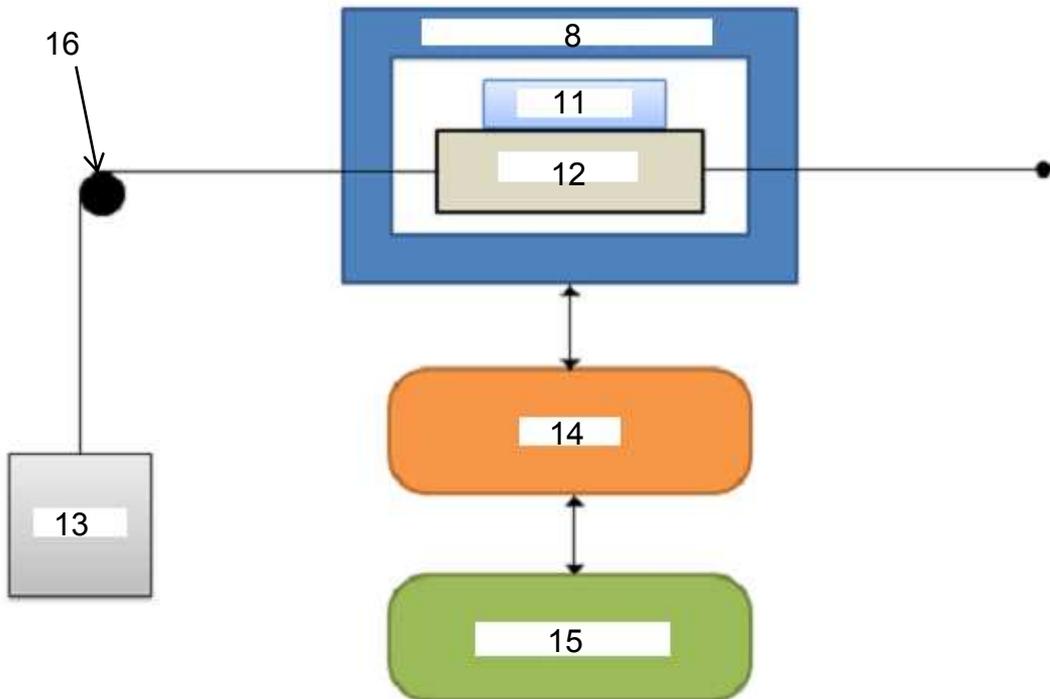


Figura 2

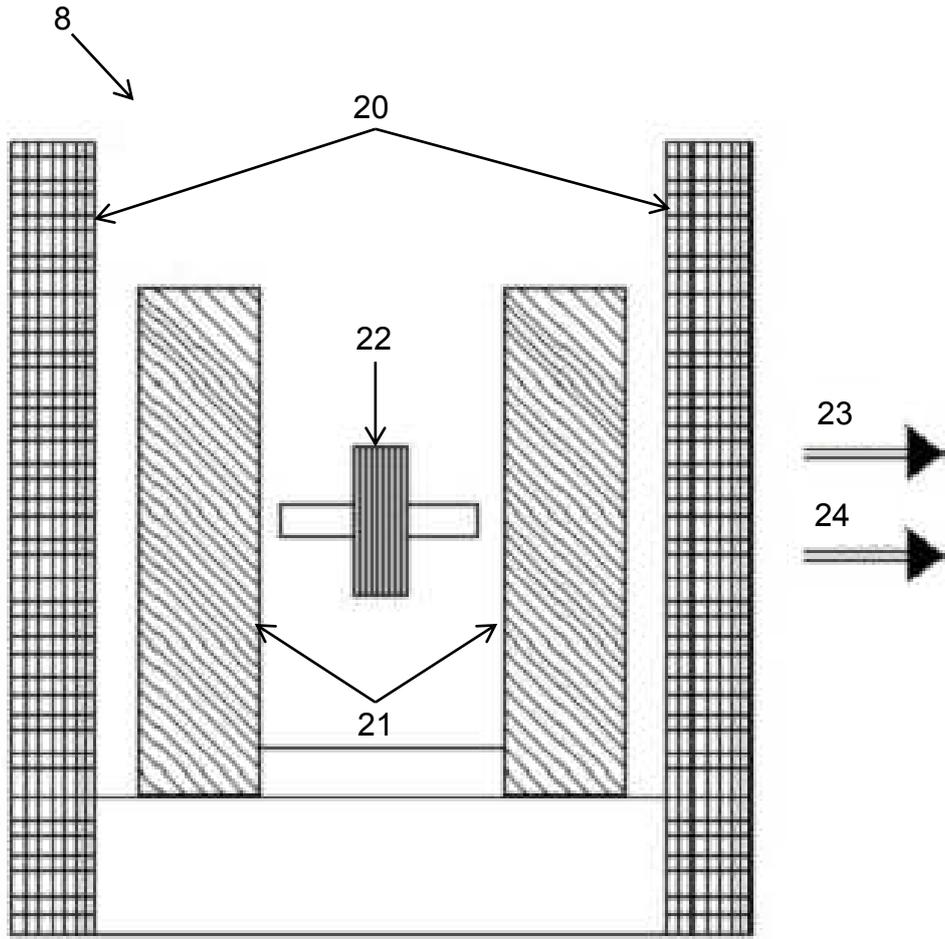


Figura 3