



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

(21) **PI0702878-4 A2**

(22) Data de Depósito: 17/08/2007
(43) Data da Publicação: 22/03/2011
(RPI 2098)



★ B R P I 0 7 0 2 8 7 8 A 2 ★

(51) *Int.Cl.:*
G01V 7/00
G01V 7/10

(54) Título: **GRADIÔMETRO DE GRAVIDADE E MÉTODO PARA FORMAR UMA NERVURA DE FLEXÃO NO MESMO**

(30) Prioridade Unionista: 23/11/2006 AU 2006906562

(73) Titular(es): TECHNOLOGICAL RESOURCES PTY LIMITED

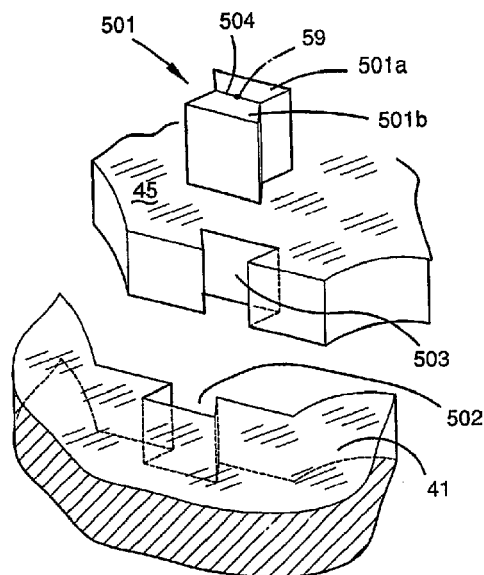
(72) Inventor(es): FRANK JOACHIM VAN KANN, JOHN WINTERFLOOD

(74) Procurador(es): Vieira de Mello, Werneck Alves - Advogados S/C

(86) Pedido Internacional: PCT AU2007001180 de 17/08/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/061282 de 29/05/2008

(57) Resumo: GRADIOMETRO DE GRAVIDADE E METODO PARA FORMAR UMA NERVURA DE FLEXAO NO MESMO Expõem-se um gradiômetro de gravidade e método para formar uma nervura de flexão de pivô para um gradiômetro. O gradiômetro é dotado de barras de medição (41, 43) suportadas em alojamentos (45 e 47) e transdutores (71) para medição de movimento das barras para proporcionarem uma indicação do tensor de gradiente de gravidade. As barras (41, 43) são montadas em nervuras de flexão. As nervuras são formadas em elementos separados dos alojamentos e das barras.



GRADIÔMETRO DE GRAVIDADE E MÉTODO PARA FORMAR UMA
NERVURA DE FLEXÃO NO MESMO

Campo da Invenção

Refere-se a presente invenção a um gradiô-
5 metro de gravidade e, em particular, porém não exclusi-
vamente, a um gradiômetro de gravidade para uso aéreo.
A invenção tem aplicação particular para a medição de
componentes diagonais e não-diagonais do tensor de gra-
diente gravitacional.

10 **Antecedentes da Invenção**

No pedido de patente internacional No.
PCT/AU2006/001269, da mesma requerente do presente pe-
dido, e diversos pedidos de patente depositados simul-
taneamente encontra-se exposto um gradiômetro de gravi-
15 dade. O conteúdo do pedido de patente internacional
No. PCT/AU2006/001269 fica incorporado neste relatório
por meio desta referência.

Os gravímetros são amplamente usados em
exploração geológica para medirem as primeiras deriva-
20 das do campo gravitacional da terra. Embora alguns a-
vanços fossem realizados no desenvolvimento de gravíme-
tros que podem medir as primeiras derivadas do campo
gravitacional da terra por causa da dificuldade em di-
ferençar variações espaciais do campo em relação a flu-
25 tuações temporais de acelerações de um veículo em movi-
mento, estas medições podem ser feitas usualmente com
precisão suficiente para exploração apenas com instru-
mentos estacionários de base terrestre.

Os gradiômetros de gravidade (diferentes dos gravímetros) são usados para medir a segunda derivada do campo gravitacional e utilizam um sensor que é necessário para medir as diferenças entre forças gravitacionais até uma parte de 10^{12} da gravidade normal.

Tipicamente, tais dispositivos têm sido usados para procurar localizar depósitos tais como depósitos de minério, incluindo minério de ferro e estruturas geológicas portadoras de hidrocarbonetos.

O gradiômetro mencionado anteriormente é dotado de um sensor na forma de uma massa sensória que é montada de forma giratória para movimento em resposta ao gradiente de gravidade.

O gradiômetro de gravidade exposto nos pedidos internacionais mencionados anteriormente inclui um alojamento para suportar uma massa sensória que está na forma de uma barra sensória. A barra é conectada à massa sensória por meio de uma nervura de flexão integral. Se a nervura de flexão quebrar, o alojamento e a barra são portanto inúteis e requerem substituição completa, o que pode ser relativamente dispendioso por causa da natureza dos materiais de que são formados a barra e o alojamento.

Sumário da Invenção

O objetivo da invenção consiste em proporcionar um gradiômetro e método de formação de uma junta de nervura de flexão para um gradiômetro que supera este problema.

Conseqüentemente, a invenção proporciona um gradiômetro de gravidade para medir componentes do tensor de gradiente de gravidade, que compreende:

4 pelo menos uma barra sensória para movimento em resposta ao gradiente de gravidade;

um transdutor para medir o movimento da barra sensória para proporcionar uma medida de pelo menos um componente do tensor de gradiente de gravidade;

um alojamento para suportar a barra sensó-
10 ria; e

um elemento de nervura de flexão formado separado do alojamento e da barra e tendo uma nervura de flexão, sendo o elemento conectado à barra e ao alojamento para suportar a barra no alojamento para movimento giratório em torno da nervura de flexão.
15

Uma vez que é proporcionado um elemento de nervura de flexão separado, se a nervura de flexão quebrar, é necessário somente remover o elemento velho e inserir um elemento novo que pode ser retido como uma
20 parte sobressalente a fim de reparar o gradiômetro. Isto, portanto, evita a necessidade de usinar um novo alojamento e barra completos dotados da nervura de flexão integral que é demorado, ou a necessidade de manter alojamentos e nervuras de flexão sobressalentes que são
25 relativamente dispendiosas.

Preferentemente, o elemento de nervura de flexão é dotado de uma configuração em cauda de andorinha dupla com um recorte separando as caudas de andori-

nha, exceto para a localização da nervura de flexão, sendo o alojamento dotado de um canal em forma de cauda de andorinha e sendo a barra sensória dotada de um canal em forma de cauda de andorinha para receber o elemento para dessa forma conectar o elemento ao alojamento e à barra.

A invenção também proporciona um método para formar uma nervura de flexão em um gradiômetro de gravidade para medir componentes do tensor de gradiente de gravidade, sendo o gradiômetro de gravidade dotado de uma barra sensória montada em um alojamento de maneira que a barra sensória pode mover-se em relação ao alojamento em resposta ao gradiente de gravidade para proporcionar uma medida de pelo menos um componente do tensor de gradiente de gravidade, que compreende:

formar um componente de conexão na barra e um componente de conexão no alojamento, fixar um elemento de nervura de flexão separado que tem um componente correspondente ao componente na barra e um componente correspondente ao componente no alojamento à barra e alojamento por aquecimento de um do alojamento e barra, e o elemento, e resfriamento do outro do alojamento e barra, e o elemento, e localizar os componentes respectivos em conjunto de maneira que quando o alojamento, barra e elemento retornam para substancialmente a mesma temperatura, o elemento é conectado à barra e alojamento por contração e expansão do alojamento, barra e elemento.

Preferentemente, os componentes na barra e alojamento são canais em forma de cauda de andorinha e os componentes no alojamento são elementos em forma de cauda de andorinha correspondente separados por um re-
5 corte exceto quanto à localização da nervura de flexão.

Descrição Breve dos Desenhos

Serão descritas agora concretizações preferidas da invenção, a título de exemplo, com referência aos desenhos anexos, nos quais:

10 A Figura 1 representa uma vista esquemática de um gradiômetro de uma concretização da invenção.

A Figura 2 é uma vista em perspectiva de um primeiro suporte que forma parte de uma instalação do gradiômetro da concretização preferida.

15 A Figura 3 é uma vista de um segundo suporte da instalação.

A Figura 4 é uma vista olhada por baixo do suporte da Figura 3.

20 A Figura 5 é uma vista seccional ao longo da linha IV-IV da Figura 3.

A Figura 6 é uma vista seccional ao longo da linha V-V da Figura 3.

A Figura 7 representa uma vista da estrutura montada.

25 A Figura 8 é uma vista que mostra o sensor montado na estrutura de cardan.

A Figura 9 é uma vista plana de uma barra da concretização preferida.

A Figura 10 é um diagrama que mostra o controle de acionador.

A Figura 11 é um diagrama de blocos que mostra a operação do sistema de suporte rotativo.

5 A Figura 12 é uma vista de um gradiômetro da concretização preferida.

A Figura 13 é uma vista de um primeiro suporte de uma segunda concretização.

10 A Figura 14 é uma vista de parte do suporte da Figura 13 para ilustrar a localização e extensão da nervura de flexão do primeiro suporte.

A Figura 15 é uma vista do suporte da Figura 13 olhado por baixo.

15 A Figura 16 é uma vista do suporte da Figura 13 incluindo um segundo suporte da segunda concretização.

A Figura 17 é uma vista seccional através do conjunto ilustrado na Figura 16.

20 A Figura 18 é uma vista olhada por baixo da secção ilustrada na Figura 17.

A Figura 19 é uma vista olhada por baixo do segundo suporte da segunda concretização.

A Figura 20 é uma vista do segundo suporte da Figura 19 visto por cima.

25 A Figura 21 é uma vista explodida do segundo suporte da segunda concretização.

A Figura 22 é uma vista da instalação e de sensores montados, de acordo com a segunda concretiza-

ção.

A Figura 23 é uma vista em perspectiva do gradiômetro com uma parte do recipiente de vácuo externo removido.

5 A Figura 24 é uma vista plana de um alojamento para suportar uma barra de acordo com uma outra concretização da invenção.

A Figura 25 é uma vista explodida de parte da concretização da Figura 24.

10 A Figura 26 representa uma vista mais detalhada de parte do alojamento da Figura 24.

A Figura 27 representa um diagrama de circuito de um transdutor usado na concretização preferida da invenção.

15 A Figura 28 é uma vista lateral do traçado físico do transdutor da concretização preferida.

As Figuras 29, 30, 30A, 31, 32 e 33 representam uma série de diagramas que mostram a formação do transdutor da concretização preferida da invenção.

20 A Figura 34 é uma vista semelhante à Figura 26, mas mostrando o transdutor na posição.

A Figura 34A é uma vista de uma concretização de maior preferência da disposição de bobina ilustrada nas Figuras 29 a 33.

25 A Figura 34B é uma vista detalhada de parte da disposição ilustrada na Figura 34A.

A Figura 35 é um diagrama usado para ajudar na explanação dos circuitos ilustrados nas Figuras

36 e 37.

A Figura 36 é um diagrama de circuito referente à concretização preferida da invenção, mostrando com particularidade o uso de um dos sensores como um
5 acelerômetro angular.

A Figura 37 mostra um circuito de sintonização de frequência.

A Figura 38 é um diagrama que ilustra o balanceamento dos sensores do gradiômetro da concreti-
10 zação preferida.

A Figura 39 é um diagrama de circuito de um sensor de calibragem usado quando do balanceamento do gradiômetro.

A Figura 40 é uma vista detalhada da parte
15 da Figura 24 circundada e marcada por A.

A Figura 41 é um desenho de um conector usado nas concretizações preferidas da invenção.

A Figura 42 é um diagrama de circuito do conector da Figura 41.

20 A Figura 42A é um diagrama de circuito usado com o circuito da Figura 42.

A Figura 43 é um diagrama de uma barra de sensor e configuração de transdutor de uma concretização da invenção.

25 A Figura 44 é um diagrama de circuito da configuração ilustrada na Figura 43.

A Figura 45 é um diagrama que ilustra um interruptor de calor de uma concretização da invenção.

A Figura 45A é uma vista de uma parte de alojamento do gradiômetro de acordo com a concretização.

A Figura 45B é uma vista detalhada de parte da concretização da Figura 45A.

A Figura 45C é uma vista seccional ao longo da linha 45C-45C da Figura 45A.

A Figura 45D é uma vista detalhada de parte da disposição ilustrada na Figura 45C olhada por baixo.

A Figura 45E representa uma vista seccional ao longo da linha 45E-45E da Figura 45D; e

A Figura 46 é um diagrama esquemático de um gradiômetro de acordo com uma concretização da invenção.

Descrição Detalhada das Concretizações Preferidas

A Figura 1 representa uma vista esquemática de um gradiômetro de gravidade de acordo com a concretização preferida da invenção.

O gradiômetro ilustrado na Figura 1 compreende um Dewar de parede dupla 1 que é suportado em uma plataforma externa 2. A plataforma externa 2 permite a ajustagem do Dewar e, portanto, do conteúdo do Dewar em torno de três eixos ortogonais. A plataforma externa 2 é geralmente conhecida e sua ajustagem por meio de motores adequados ou semelhantes também é conhecida. Desta forma, não será necessária uma descrição detalhada.

Um recipiente de vácuo 3 é previsto no Dewar e o Dewar é suprido com gás líquido, tal como hélio líquido He, de forma que o gradiômetro pode operar sob temperatura criogênica. O Dewar 1 é fechado por uma
5 placa extrema 4 que inclui conectores 5a para conectarem condutores elétricos (não ilustrados) a componentes externos (não representados).

O recipiente 3 é fechado por uma placa extrema 9 que inclui conectores 5b para conectar condutores
10 elétricos (não ilustrados) aos conectores 5a. O gradiômetro é dotado de um invólucro principal 61 formado a partir de um anel de doze lados 62 e domos hemisféricos 63 (vide Figura 12). Um suporte interno 5
15 está conectado ao anel 62. O anel 62 carrega um suporte 65 ao qual está acoplada uma alimentação através do flange 9. Um batoque de gargalo 11 formado de defletores 11a intercalados com espuma 11b está previsto acima do recipiente 3. Os defletores 11a são suportados em
20 uma haste oca 93 que se estende até ao recipiente 3 e que também é usada para evacuar o recipiente 3.

Com referência à Figura 2, ilustra-se na mesma um primeiro suporte 10 de um acessório rotativo 5 (Figura 7) do gradiômetro, o qual compreende uma base 12 e uma parede periférica aprumada 14. A parede periférica 14 é dotada de uma pluralidade de recortes 16.
25 A base 12 suporta um meão 18.

As Figuras 3 e 4 mostram um segundo suporte 20 que compreende uma parede periférica 22 e uma pa-

rede de topo 24. A parede periférica 22 é dotada de quatro orelhas 13 para conectarem o suporte ao invólucro 61. A parede de topo 24 e a parede periférica 22 definem uma abertura 28. A parede periférica 22 é dotada de uma primeira parte 25, uma segunda parte 26 e uma terceira parte 27. O segundo suporte 20 é uma estrutura integral monolítica e a primeira parte 25 é formada pela realização de um recorte circunferencial 19 através da parede periférica, exceto para a formação de nervuras de flexão, tais como serão descritas mais adiante. A terceira parte 27 é formada pela preparação de um segundo recorte circunferencial 29 através da parede periférica 22, exceto para as nervuras de flexão que também serão descritas mais adiante. O segundo suporte 20 é montado no primeiro suporte 10 pela localização do meão 18 dentro da abertura 28 e das orelhas 13 através dos respectivos recortes 16, conforme ilustrados na Figura 7.

O primeiro suporte 10 é unido ao segundo suporte 20. A primeira nervura de flexão 31 é formada no primeiro suporte 10 de maneira que uma parte de suporte principal do suporte 10 pode articular-se em torno de uma nervura 31 em relação a uma parte de suporte secundária do suporte 10. Isto será descrito de forma mais detalhada com referência à segunda concretização ilustrada nas Figuras 13 a 21.

As orelhas 13 conectam-se ao acessório 5 no invólucro 3 que, por sua vez, localiza-se no Dewar 1

para operação criogênica do gradiômetro.

O Dewar é, por sua vez, montado em uma primeira plataforma externa para controle de rotação de curso do gradiômetro em torno de três eixos x, y, z ortogonais. O acessório 5 suporta o sensor 40 (o qual será descrito adiante com maiores detalhes e que está preferentemente na forma de um quadrupolo de massa) para ajustagem de rotação muito mais precisa em torno dos eixos x, y e z para estabilizar o gradiômetro durante a tomada das medições particularmente quando o gradiômetro é aerotransportado.

A primeira nervura de flexão 31 permite que o primeiro suporte 10 se movimente em relação ao segundo suporte 20 em torno de um eixo x que está ilustrado na Figura 7.

As Figuras 5 e 6 são vistas ao longo das linhas IV e V, respectivamente, que por sua vez são ao longo dos cortes 19 e 29 ilustrados na Figura 3. A parede periférica 22 pode ser cortada por meio de qualquer instrumento adequado tal como um alicate de corte ou assemelhado. A Figura 5 mostra a superfície a superfície de fundo 19a formada pelo corte 27. Como é evidente a partir das Figuras 3 e 5, o corte 27 é dotado de dois picos 34 em forma de "v" invertido. O ápice dos picos 34 não é cortado e, portando, forma uma segunda nervura de flexão 33 que une a primeira parte 25 à segunda parte 26. Desta forma, a segunda parte 26 é capaz de girar articuladamente em relação à primeira

parte 25 em torno do eixo x na Figura 7. O segundo corte 29 está ilustrado na Figura 6 e novamente é visível a superfície de fundo 29a formada pelo corte 29. Novamente o segundo corte 29 forma dois picos 35 em
5 forma de "v" e os ápices dos picos 35 não são cortados e portanto formam uma terceira nervura flexível 37 que conecta a segunda parte 26 à terceira parte 27. Desta forma, a terceira parte 27 é capaz de girar articulada em torno do eixo y ilustrado na Figura 7.

10 A Figura 8 mostra o sensor 40 montado na estrutura. O sensor 40 é um sensor "Orthogonal Quadrupole Responder" - OQR, formado de uma primeira massa e de uma segunda massa, na forma de uma primeira barra 41 e de uma segunda barra 42 (não ilustrada na Figura 8)
15 ortogonal à barra 41 e que tem a mesma configuração apresentada pela barra 41.

A barra 41 é formada em um primeiro alojamento 45 e a barra 42 é formada em um segundo alojamento 47. A barra 41 e o alojamento 45 é o mesmo que a
20 barra 42 e o alojamento 47 com a exceção de que um gira 90° em relação ao outro de forma que as barras são ortogonais. Neste caso, somente será descrito o alojamento 45.

O alojamento 45 é dotado de uma parede extrema 51 e uma parede lateral periférica 52a. A parede extrema 51 é conectada ao aro 75 (Figuras 2 e 7) da parede 14 do primeiro suporte 10 por parafusos ou assemelhados (não ilustrados). A barra 41 é formada por um

recorte 57 na parede 51 exceto para uma quarta nervura de flexão 59 que une a barra 41 à parede 51. A nervura de flexão está ilustrada ampliada na vista de topo da barra 41 na Figura 9. Desta maneira, a barra 41 é capaz de articular-se em relação ao alojamento 45 quando da resposta a mudanças no campo gravitacional. A barra 42 é montada da mesma maneira que mencionada anteriormente e também pode articular-se em relação ao seu alojamento 47 em resposta a mudanças no campo gravitacional em torno de uma quinta nervura de flexão 59. O alojamento 47 é conectado à base 12 (Figura 2) do primeiro suporte 10.

A barra 41 e o alojamento 45 em conjunto com a nervura de flexão 59 constituem uma estrutura monolítica integral. Entretanto, a nervura 59 pode ser feita separada do alojamento 45 e conectada ao alojamento 45 e barra 41, tal como será descrito na concretização das Figuras 24 e 25.

Transdutores 71 (não ilustrados nas Figuras 2 a 6) são proporcionados para medirem o movimento das barras e para produzirem sinais de saída indicadores da quantidade de movimento e, portanto, da medição das diferenças no campo gravitacional detectado pelas barras.

A Figura 10 é um diagrama de blocos esquemático que mostra o controle de acionador para estabilizar o gradiômetro pela rotação do acessório 5 em torno de três eixos ortogonais (x, y, z). Um controlador

50, que pode ser um computador, microprocessador ou as-
semelhado emite sinais para acionadores 52, 53, 54 e
55. O acionador 52 poderá fazer girar o acessório em
torno do eixo x, o acionador 54 poderá fazer girar o
5 acessório 5 em torno do eixo y e o acionador 54 poderá
fazer girar o acessório 5 em torno do eixo z. Entre-
tanto, na concretização preferida, dois dos quatro a-
cionadores 52, 53, 54 e 55 são usados para fazer girar
o acessório em torno de cada eixo de maneira que a ro-
10 tação em torno de cada eixo é causada por uma combina-
ção de dois movimentos lineares proporcionados a partir
dos dois acionadores. O movimento linear proporcionado
por cada acionador será descrito com referência às Fi-
guras 31 e 32. A posição do acessório 5 é monitorada
15 de maneira que realimentação apropriada pode ser pro-
porcionada para o controlador 50 e os sinais de contro-
le apropriados proporcionados para os acionadores para
fazer girar o suporte 10 como é requerido para estabi-
lizar o suporte durante movimento através do ar seja
20 dentro ou rebocado atrás de um avião.

A concretização preferida também inclui
acelerômetros angulares os quais são semelhantes na
forma às barras 41 e 42, mas a forma é ajustada para
movimento quadrupolo zero. Os acelerômetros lineares
25 são dispositivos de pêndulo simples com um único micro
pivô que funciona como uma articulação flexional.

A Figura 11 é uma vista de um controle de
realimentação usado na concretização preferida.

A Figura 12 representa uma vista em corte do gradiômetro pronto para montagem no Dewar 1 para operação criogênica e que, por sua vez, destina-se a ser montado na plataforma externa. Muito embora as Figuras 2 a 8 mostrem o gradiômetro com as barras 41 e 42 dispostas no topo e no fundo, o instrumento é efetivamente ligado no seu lado (90°) de forma que as barras 41 e 42 estão nas extremidades tal como se encontram ilustradas na Figura 12.

A Figura 12 mostra o acessório 5 disposto dentro do invólucro 61 e formado pelo anel 62 e as extremidades hemisféricas transparentes 63. O anel 62 é dotado de conectores 69 para conectar a fiação interna proveniente dos transdutores 71 (vide Figura 8) e componentes eletrônicos SQUID (Dispositivo de Interferência Quantum Supercondutor) localizados no invólucro 61 aos conectores 5b (Figura 1).

Os transdutores 71 medem o ângulo de deslocamento das barras 41 e 42 e o circuito de controle (não representado) é configurado para medir a diferença entre eles.

A correção de erro pode ser realizada numericamente com base em sinais digitalizados provenientes dos acelerômetros e um sensor de temperatura.

Os transdutores 71 são transdutores baseados em SQUID e a correção de erro é possibilitada pela grande faixa dinâmica e linearidade dos transdutores baseados em SQUID.

As Figuras 13 a 21 mostram uma segunda concretização em que partes semelhantes indicam componentes semelhantes àqueles descritos anteriormente.

Nesta concretização o primeiro suporte 10
5 é dotado de recortes 80 que efetivamente formam fendas para receberem orelhas (não representadas) que são conectadas ao suporte 10 nos recortes 80 e também ao segundo suporte 20 ilustrado nas Figuras 19 a 21. Nesta concretização as orelhas são componentes separados de
10 maneira que eles podem ser proporcionados menores, e mais facilmente do que sendo cortados com a segunda seção de suporte 20 que forma a segunda nervura de flexão 33 e a terceira nervura de flexão 37.

Na Figura 13 um recorte 87 é praticado para
15 definir a parte 18a do meão 18. O recorte 87 então estende-se radialmente para dentro em 88 e, então, em torno da seção central 18c como ilustrado pelo recorte 101. O recorte 101 então entra na seção central 18c ao longo de linhas de corte 18d e 18e para definir um núcleo 18f. O núcleo 18f é conectado à seção central 18c
20 pela nervura de flexão 31 que é uma parte recortada entre as linhas de corte 18e e 18d. A parte 10a, portanto, forma uma parte de suporte principal do suporte 10 que é separada de uma parte de suporte secundária 10a
25 do suporte 10, exceto onde a parte 18a se une com a parte 10a pela nervura de flexão 31. A parte 18a efetivamente forma um eixo para permitir a rotação da parte 18a em relação à parte 10a na direção z em torno da

nervura de flexão 31.

Tal como se encontra ilustrado na Figura 14, a linha de recorte 88 afila-se para fora a partir da extremidade superior ilustrada na Figura 14 para a
5 extremidade inferior e o núcleo 18c afila-se para fora em forma correspondente, tal como melhor ilustrado na Figura 17.

Como é evidente a partir das Figuras 13 a 18, o primeiro suporte 10 é de forma octogonal em vez
10 de redonda, como na concretização anterior.

As Figuras 19 a 21 mostram o segundo suporte 20. A Figura 16 mostra o segundo suporte 20 montado no primeiro suporte 10. Tal como melhor ilustrado nas Figuras 19 e 20, o segundo suporte 20 é dotado de
15 recortes 120 que registram com os recortes 80 para receberem orelhas (não representadas). As orelhas podem ser aparafusadas ao segundo suporte 20 por meios de pernos que passam através das orelhas e em furos para pernos 121. As orelhas (não ilustradas) são montadas
20 ao suporte 20 antes que o suporte 20 seja fixado ao primeiro suporte 10.

Na concretização das Figuras 19 e 20, os picos 34 e picos invertidos 35 são achatados em vez de terem a forma em "V" como na concretização anterior.

25 Nesta concretização, a parede de topo 24 é provida de um furo central 137 e dois furos de fixação 138a. Três furos menores 139a são proporcionados para facilitar empurrar o alojamento 45 para fora da parte

18a se for necessária a desmontagem. Quando o segundo suporte 20 é localizado dentro do primeiro suporte 10, a parte superior da seção central 18c projeta-se através do furo 137, tal como melhor ilustrado na Figura 16. O suporte 20 poderá ser então conectado ao suporte 10 por meio de prendedores, os quais passam através dos furos 138 e encaixam nos furos 139b (vide Figura 13) na parte 18a.

Desta maneira, quando o primeiro alojamento 45 e sua barra associada 41 são conectados ao aro 75 do alojamento 10 e o segundo alojamento 47 é conectado à base 12, os alojamentos 45 e 47 e as suas barras associadas 41 e 42 são, portanto, capazes de se moverem em torno de três eixos ortogonais definidos pela nervura de flexão 31, pela nervura de flexão 33 e pela nervura de flexão 37.

Tal como melhor ilustrado na Figura 21 que é uma vista explodida das três partes 25, 26 e 27 que constituem o segundo suporte 20, uma abertura estende-se através do suporte 20 que é formada pelo furo 137, furo 138 e furo 139. Deverá ser compreendido que o suporte 20 ilustrado na Figura 21 é uma estrutura monolítica e está meramente ilustrado em vista explodida para ilustrar claramente a localização das nervuras de flexão 33 e 35. Obviamente, a nervura de flexão 33 ilustrada na Figura 21 une-se com a parte 26 e a nervura de flexão 35 ilustrada na Figura 21 une-se com a parte 27. Os furos 137, 138 e 139 definem uma passagem através da

qual o eixo ou primeira parte 18a do primeiro suporte 10 pode estender-se quando o segundo suporte 20 está localizado no primeiro suporte 10.

5 Desta forma, quando o segundo suporte 20 é
fixado à parte 18a, o segundo suporte 20 pode ser articular-se com a primeira parte 10a do primeiro suporte 10 em torno de um eixo x definido pela nervura de flexão 31 enquanto a segunda parte formada pela parte 18a permanece estacionária. O movimento em torno dos eixos
10 x e y é conseguido pelo movimento de articulação do segundo suporte 20 em torno das nervuras de flexão 33 e 35 como descrito anteriormente.

A Figura 22 mostra os acelerômetros lineares e anulares 90 fixados aos alojamentos 45 e 47.

15 O gradiente de gravidade exerce um torque em um corpo rígido com qualquer distribuição de massa desde que ela tenha um momento quadrupolo não-zero. Para um corpo plano, no plano x-y e articulado em torno do eixo z, o quadrupolo é a diferença entre momentos de
20 inércia nas direções x e y. Desta forma, um quadrado ou círculo tem momento de quadrupolo zero, enquanto um retângulo tem um valor não-zero.

O torque produzido é que constitui o sinal medido pelo gradiômetro.

25 Existem duas perturbações dinâmicas que também podem produzir torques e, conseqüentemente, constituem-se em fontes de erro.

A primeira é a aceleração linear.

Esta produz um torque se o centro da massa não estiver exatamente no centro de rotação - isto é, a barra está "desequilibrada". As barras 41 e 42 são equilibradas tanto quanto possível (utilizando-se para-
5 fusos sem cabeça para ajustar a posição do centro da massa), mas isto não é totalmente bom, de forma que existe um erro residual. Este erro pode ser corrigido pela medição da aceleração linear e utilizando-se esta para subtrair numericamente a parte errônea do sinal.

10 A segunda é o movimento angular.

Existem dois aspectos para o movimento angular, cada um dos quais produz um erro diferente.

O primeiro é o aspecto da aceleração angular.

15 A aceleração angular produz um torque na distribuição de massa através do seu momento de inércia (mesmo que o momento quadrupolo seja zero). Este é um erro enorme e, para neutralizá-lo, utilizam-se duas técnicas preferidas.

20 A primeira consiste em utilizar estabilização de rotação interna. Esta está ilustrada no diagrama de blocos da Figura 10. Aqui, $H_o(s)$ representa o conjunto sensor articulado em torno do suporte 5 (tal como pela Figura 9). O bloco $A(s)$ representa o acionador, que proporciona o torque de realimentação para e-
25 fetuar esta estabilização mediante cancelamento das perturbações aplicadas. $T(s)$ representa o sensor (ou transdutor) que mede o efeito da perturbação aplicada.

Este é o acelerômetro angular. Não é usual utilizarem-se acelerômetros angulares no controle de rotação - usualmente utilizam-se giroscópios e/ou medidores de inclinação altamente amortecidos, mas para o propósito da presente invenção são melhores os acelerômetros angulares, uma vez que o erro é proporcional à perturbação de aceleração angular.

A segunda consiste em usar rejeição de modalidade comum CMRR - que é a razão pela qual são necessárias 2 barras ortogonais. Para as duas barras, o torque de erro produzido pela aceleração angular é na mesma direção, mas o torque de sinal produzido pelo gradiente de gravidade é na direção oposta.

Conseqüentemente, pela medição das diferenças na deflexão entre as duas barras, o gradiente é detectado, mas não a aceleração angular.

Conseqüentemente, são proporcionados dois acelerômetros angulares separados 90 (rotulados como 90' na Figura 22 para facilidade de identificação). Temos dois sinais de saída independentes provenientes do par de barras OQR 41 e 42. O primeiro é proporcional à diferença na deflexão, que dá o sinal de gradiente, e o segundo é proporcional à soma de suas deflexões, que é proporcional à aceleração angular e proporciona o sensor para o controle de rotação de eixo x.

Os eixos x e y requerem acelerômetros angulares separados. A estabilização de rotação em torno destes eixos é requerida porque os eixos de articulação

das duas barras não são exatamente paralelos e, também, neutralizam a segunda forma de erro produzida por perturbação angular, tal como discutida adiante.

O segundo aspecto é a velocidade angular.

5 A velocidade angular produz forças centrífugas, as quais constituem, também, uma fonte de erro. A estabilização de rotação interna proporcionada pelos acionadores reduz o movimento angular de forma que o erro está abaixo de 1 Eotvos.

10 A Figura 23 mostra o corpo principal 61 e o conector 69 com as extremidades hemisféricas removidas.

A Figura 24 é uma vista plana do alojamento 45 de acordo com uma outra concretização mais da invenção. Como é evidente a partir da Figura 24, o alojamento 45 é circular em vez de octogonal, como é o caso com a concretização da Figura 8.

O alojamento 45 suporta a barra 41 da mesma maneira que se descreveu por meio da nervura de flexão 59 que fica localizada no centro da massa da barra 41. A barra 41 é em forma de divisa, muito embora a forma de divisa seja ligeiramente diferente daquela usada nas concretizações anteriores e tem uma borda 41e mais arredondada oposta à nervura de flexão 59 e uma
25 seção de parede em forma de calha 41f, 41g e 41h adjacente à nervura de flexão 59. As extremidades da barra 41 têm furos rosqueados 300 que recebem elementos rosqueados 301 que podem estar na forma de conectores tais

como parafusos sem cabeça ou assemelhados. Os furos 300 registram com furos 302 na parede periférica 52a do alojamento 45. Os furos 302 permitem o acesso aos conectores 301 por uma chave de parafusos ou outra ferramenta, de forma que os conectores 301 possam ser aparafusados e desparafusados em relação ao furo 300 para ajustar a sua posição no furo para equilibrar a massa 41 de forma que o centro de gravidade fique situado na nervura de flexão 59.

Da forma que se encontram ilustrados na Figura 24, os furos 300 estão a um ângulo de 45° em relação à horizontal e à vertical na Figura 24. Assim, os dois furos 302 ilustrados na Figura 24 estão em ângulos retos com relação um ao outro.

A Figura 24 também mostra aberturas 305 para receberem o transdutor 71 para monitorar o movimento da barra 41 e produzir sinais que são transportados para o dispositivo SQUID. Tipicamente, o transdutor encontra-se na forma de uma bobina e quando a barra 41 se movimenta levemente devido à diferença de gravidade nas extremidades da barra, ocorre uma mudança na capacitância que altera a corrente na bobina para proporcionar desse modo um sinal indicador de movimento da barra 41.

Na concretização da Figura 24, a nervura de flexão 59 não é integral com a barra 41 e o alojamento 45, mas é em vez disso formada em um elemento de nervura 501 separado.

Nesta concretização a barra 41 (e, também, a barra 42 no segundo alojamento, não ilustrado nas Figuras 24 e 25) é cortada separadamente do alojamento 45. A barra 41 é configurada com um canal em forma de cauda de andorinha 502 e o alojamento 45 é provido de um canal 503 correspondentemente em forma de cauda de andorinha.

Tal como melhor ilustrado na Figura 25, o elemento de nervura 501 é em forma de cauda de andorinha dupla, tendo uma primeira parte em cauda de andorinha 501a e uma segunda parte em cauda de andorinha 501b, as quais são unidas entre si pela nervura de flexão 59. As partes 501a e 501b são separadas por um recorte 504 isolado do local da nervura de flexão 59.

A parte 501a é formada e configurada para ajustar-se ao canal 503 e a parte 501b é formada e configurada para ajustar-se dentro do canal 502. Desta maneira, quando o elemento 501 é localizado dentro dos canais 502 e 503, o elemento 501 une a barra 41 ao alojamento 45 e proporciona a nervura de flexão 59 para permitir o movimento da barra 41 no alojamento 45.

A fim de se prender o elemento 501 nos canais 502 e 503, o elemento 501 é resfriado para uma temperatura baixa de forma tal que se contrai efetivamente em relação à sua dimensão sob temperatura ambiente. O alojamento 45 e a barra 41 podem ser aquecidos de forma que eles expandem-se para aumentar para a dimensão dos canais 502 e 503 em relação ao seu estado na

temperatura ambiente. Desta forma, o elemento contrai-
do 501 pode ajustar-se facilmente nos canais 502 e 503
como um ajuste relativamente preciso e quando o elemen-
to 501 e a barra 41 e o alojamento 45 retornam para a
5 temperatura ambiente, o alojamento 41 e a barra 45 con-
traem-se efetivamente em relação ao elemento 501 que se
expande, fazendo assim com que o elemento 501 seja tra-
vado firmemente nos canais 502 e 503.

Quando o gradiômetro é usado sob tempera-
10 turas criogênicas, tanto o elemento 501 quanto a barra
e o alojamento serão submetidos à mesma temperatura e,
portanto, a diferença de temperaturas entre as que o-
correram quando o elemento 501 foi montado nos canais
502 e 503 é mantida para manter o travamento e integri-
15 dade da conexão do elemento 501 a uma barra 41 e aloja-
mento 45.

O uso do elemento 501 significa que a ner-
vura de flexão 59 é formada em um componente separado e
se a nervura 59 quebrar, o elemento 501 pode simples-
20 mente ser removido e substituído por um novo elemento.
Portanto, isto evita a necessidade de substituir todo o
alojamento 45 e a barra 41 na eventualidade da nervura
de flexão 59 quebrar.

As nervuras de flexão 31, 33 e 37 poderão
25 ser formadas na forma de elementos de nervura separados
semelhantes ao elemento 501, em vez de serem integrais
com suas partes de montagem respectivas, para evitar
desse modo a necessidade de se substituir toda a parte

de estrutura, na eventualidade de uma dessas nervuras ser quebrada.

A Figura 26 é uma vista mais detalhada do alojamento da Figura 24 que mostra as aberturas 305.

5 Como pode ser observado a partir da Figura 25, as aberturas 305 são dotadas de ressalto 401 que definem reentrâncias 402. Uma mola 403 fica disposta adjacente à superfície 406.

As Figuras 27 a 33 são desenhos relacionados com o transdutor 71 usado nas concretizações preferidas da invenção, que medem o movimento das barras 41 e 42 nos alojamentos 45 e 47. Somente um dos transdutores está ilustrado nas Figuras 27 a 33.

Tal como se encontra ilustrado in Figura 15 27 o transdutor 70 tem duas bobinas sensórias 510 e 511 as quais têm a sua indutância modulada pelo movimento da superfície supercondutora 41a de uma barra 41, quando a barra 41 movimenta-se em torno da nervura de flexão 59 em resposta a mudanças no campo gravitacional.

20 A bobina 510 é uma bobina de passo fino de indutância ampla com muitas espiras que se destina a carrear uma corrente relativamente baixa. A bobina 511 é uma bobina tipo panqueca de passo largo e baixa indutância com menor número de espiras e é estreitamente acoplada à

25 bobina 510, porém separada em relação à bobina 510 por uma fina camada de isolamento 513 (que está ilustrada na Figura 32). As bobinas 510 e 512 são concêntricas uma com a outra e são proporcionadas em uma superfície

de um bloco Macor 514 (vide Figura 29) que suporta um substrato de silício 515 (Figuras 28 e 29).

Uma bobina de indutor de lastro 516 é proporcionada em paralelo com uma bobina 510 e condutores de entrada 517 e 518 são também proporcionados para inserir como entrada corrente inicial no laço formado pela bobina 510 e pela bobina 516. Os condutores de entrada e saída são separados por um interruptor de calor 519. A função do interruptor de calor 519 e dos condutores 517 e 518 será descrita adiante de forma mais detalhada. É suficiente dizer para a presente descrição que os condutores 517 e 518 e o interruptor 519 possibilitam que uma corrente inicial seja armazenada no laço formado pelas bobinas 510 e 516 que será modulada pelo movimento da barra 41 durante a operação criogênica do gradiômetro para detectar mudanças no campo gravitacional.

A bobina 516 também proporciona a sintonização do espaçamento efetivo das bobinas 510 e 516 a partir da superfície 512, tal como será descrito adiante de forma mais detalhada.

A bobina 511 é conectada paralela à bobina 518 que forma parte do dispositivo SQUID 367. Um indutor de lastro fixo na forma da bobina 519 pode ser proporcionado em paralelo com as bobinas 511 e 518 a fim de carrear quaisquer correntes amplas, de forma que essas correntes não fluam para o dispositivo SQUID 367. A partir do momento em que a indutância da bobina 519

seja muito maior do que aquela da bobina 518, a sensibilidade não é alterada pela inclusão do indutor de lastro fixo 519.

A fim de se poder proporcionar uma bobina
5 panqueca adequada para se medir o movimento da superfície 512, é necessário um grande numero de espiras. Isto torna difícil a formação das bobinas convencionais as
quais são realizadas por enrolamento de um fio em um
substrato por causa da dimensão da bobina e das restri-
10 ções na dimensão devido à sua inclusão no alojamento 45
e na proximidade com as barras 41 no gradiômetro de
gravidade.

Para superar as dificuldades de manufatura
e dispêndio, a bobina sensória é formada a partir de
15 uma tecnologia de película fina de maneira que a bobina
é um circuito integrado formado em um substrato de sí-
lício por meio de técnicas de manufatura por meio de
máscara adequadas que são amplamente conhecidas. En-
tretanto, essa tecnologia de película fina sofre da
20 desvantagem de ter requisitos de limite de corrente re-
lativamente baixos. Para se superar este inconvenien-
te, o circuito é provido com pelo menos duas bobinas
510 e 511, tais como descritas com referência à Figura
27. Uma bobina 511 amplifica efetivamente a corrente
25 na bobina 510 adequada para o dispositivo SQUID 367.
Desta maneira, a bobina 511 forma efetivamente um
transformador para aumentar a corrente de saída da bo-
bina 510. Muito embora isto também diminua a indutân-

cia de fonte efetiva, isto não é um inconveniente porque utilizando-se micro-circuitos de alta resolução, é possível produzir bobinas com muitas espiras e indutância muito grande.

5 Assim, conforme ilustrado na Figura 29 que é uma vista plana do bloco Macor 514 ilustrado na vista lateral da Figura 28, um substrato de silício 515 é depositado no bloco 514 e, tal como se encontra ilustrado in Figura 30, uma placa de capacitor de alumínio circu-
10 lar 518a é então formada no substrato de silício 515. A placa 518a é provida com ranhuras radiais 519a para reduzir a circulação de corrente em torno da placa 518a. Simultaneamente com a formação da placa de capacitor 518a, entradas de interruptor de aquecedor 520 e
15 521 são formadas para suprimento de corrente ao interruptor de calor 519b. Atenuadores de entrada e saída 517a são também formados para suprimento da corrente de fonte inicial que flui através da bobina 510 e da bobina 516. Uma camada de isolamento fina 522 é então de-
20 positada sobre o capacitor 518a, tal como se encontra ilustrado na Figura 31. Uma camada que contém a bobina fina 510 é então formada na camada de isolamento 522, como são os condutores de entrada e saída 517 para alimentarem corrente inicial que circula através do laço
25 formado pelas bobinas 510 e 516. A bobina fina 510 é formada a partir de material supercondutor, tal como nióbio e pode ter 1200 espiras, um passo de 5 micrômetros, um diâmetro externo de 28 μm e um diâmetro inter-

no de 16 μm .

Uma camada de isolamento é então formada sobre a bobina 510. A camada de isolamento 513 ilustrada na Figura 32 é então depositada sobre a bobina 510 para separar a bobina 510 em relação à bobina 511 e a bobina larga 511 é então depositada na camada de isolamento 513 como ilustrado na Figura 32.

A bobina larga 511 também é feita a partir de material supercondutor, tal como nióbio e, por exemplo, é dotada de 36 espiras com um passo de 150 micrômetros, e diâmetros interno e externo que são os mesmos da bobina fina 510.

A bobina de lastro 516 é proporcionada no lado oposto do substrato 515 às bobinas 510 e 511. Isto é feito pela provisão de dois substratos que têm cerca de 0,5 mm de espessura e colagem dos dois substratos entre si de forma que a bobina 516 fica na superfície oposta externa do substrato formado àquela em que as bobinas 510 e 511 são depositadas. A bobina 510 é conectada à bobina 516 por meio de fios de ligação 535 (somente um está ilustrado na Figura 28). O bloco Macor 514 é provido de um leve recesso 539 para acomodar os fios de ligação 535. Os fios de ligação 536 também se estendem entre o substrato 515 e uma tira de contacto de nióbio 537 formada no bloco Macor 514.

Tal como se encontra ilustrado na Figura 33, parte da bobina larga 511 é coberta por tiras de isolamento 530 para permitir a interligação da bobina

511 ao dispositivo SQUID 367 tal como por intermédio do atenuador 531 e condutor 532 e atenuador 533, atenuador 534 e condutor 535.

Na concretização mais simples da invenção o circuito integrado formado pelas camadas anteriormente mencionadas pode ser tão simples quanto compreendendo a bobina 510 e a bobina 511, bem como a placa de capacitor de alumínio 518 todas separadas por suas respectivas camadas de isolamento.

10 Nesta concretização a disposição proporciona bom acoplamento com a unidade de aproximação K_{12} . A corrente inicial que circula no laço formado pela bobina larga 511 e pelo dispositivo SQUID 367 pode ser ajustada para zero com o fluxo sensório mantido pela
15 corrente na bobina 510. Muito embora a corrente seja pequena, o fluxo sensório é grande porque a bobina 510 é dotada de um grande número de espiras.

Uma corrente inicial é armazenada na bobina 510 (ou no laço formado pela bobina 510 e pela bobina 516) pelo suprimento de uma corrente por meio do
20 condutor de entrada 517 para o laço. Corrente também é fornecida aos condutores 520 e 521 para fazer o resistor 519a aquecer, aquecendo assim a parte do laço ilustrada na Figura 28 adjacente ao resistor de aquecimento
25 519b que fica subjacente ao condutor 517, tal como ilustrado na Figura 32, para aquecer essa parte do condutor 517 e, portanto, romper efetivamente o laço supercondutor. A corrente fornecida a partir dos condu-

tores 517 e 518 pode então circular através do laço e desses condutores para induzir a corrente inicial no laço. A corrente é então interrompida para o resistor de aquecimento 519b e a corrente induzida no laço continua a circular no laço por causa das características supercondutoras do laço. A corrente que é induzida no laço é a corrente que é modulada pelo movimento da barra 41 em relação à bobina 510 de forma a mudar o fluxo magnético que é produzido que, por sua vez, altera a corrente na bobina 511 que por sua vez é detectada pelo dispositivo SQUID 367 para proporcionar a medição da mudança no campo gravitacional.

Na concretização ilustrada nas Figuras 27 e 28 que inclui a bobina 516, a bobina 516, tal como explicado anteriormente, é montada no lado oposto do substrato 515 à bobina 510 e impede que a corrente de polarização que flui através da bobina 510 flua nos condutores externos 517. A bobina 516 é efetivamente uma cópia exata da bobina 510 e, portanto, é preferentemente também formada a partir de uma camada de película fina depositada no substrato 515. Os fios de ligação 536 que são conectados às tiras 537 formam as conexões para permitir que a bobina 511 seja conectada ao dispositivo SQUID 367.

A bobina 516 também pode ser usada para sintonizar o espaçamento efetivo da bobina 510 em relação à face frontal 512 da barra 41 de forma que todos os transdutores que são usados podem ser espaçados em

relação às superfícies 512 pela mesma distância. Isto será descrito adiante de maneira mais detalhada, mas é suficiente mencionar para a presente descrição que as bobinas 516 e 510 podem formar uma única bobina virtual
5 pela seleção adequada da corrente que é induzida no laço formado pelas bobinas 510 e 516. Desta forma, pela mudança dessa corrente a posição da bobina virtual efetivamente movimenta-se entre as bobinas 510 e 516 para proporcionar uma posição de bobina virtual que pode ser
10 localizada a uma distância predeterminada da face 512. Pela seleção adequada das correntes que circulam através dos respectivos laços, as tolerâncias na manufatura e montagem do dispositivo podem ser superadas para assegurar que a bobina virtual formada pelas bobinas 510
15 e 516 fique igualmente espaçada em relação às faces 512 de suas barras respectivas.

Assim, a bobina 516 pode ser usada para desempenhar a dupla função de evitar correntes de polarização nos condutores externos tal como descrito anteriormente, e também para sintonizar o espaçamento efetivo da bobina 510 em relação à superfície 512.
20

Nas concretizações descritas anteriormente, a placa de capacitor 518a fica concêntrica com as bobinas 510 e 511. A placa de capacitor 518a não desempenha qualquer função na operação do transdutor a fim de detectar mudanças no campo gravitacional. A placa de capacitor 518a é usada para calibrar o equilíbrio das barras 41 e 42 nos seus alojamentos 45 e 47
25

respectivos, tal como será descrito adiante de maneira mais detalhada. O posicionamento da placa de capacitor 518a como uma disposição concêntrica com as bobinas 510 e 511 e substancialmente coplanar com essas bobinas significa que a placa de capacitor 518a vê o mesmo sinal que é visto pela bobina (isto é, o intervalo entre a superfície 512 e a bobina 510). Desta forma, quando o capacitor 518 é usado para calibrar o equilíbrio das barras 41 e 42, o capacitor está medindo o mesmo sinal efetivo tal como seria visto pelas bobinas durante a operação do gradiômetro. Isto permite que as barras 41 e 42 sejam equilibradas em relação ao sinal que é efetivamente detectado pelas bobinas 510 durante a operação do dispositivo, aperfeiçoando assim o equilíbrio das barras 41 e 42 e, conseqüentemente, a operação do gradiômetro.

A placa 518a é proporcionada concêntrica com as bobinas 510 e 511 nesta concretização ao fazer-se com que a placa 518 e as bobinas 510 e 511 tenham substancialmente o mesmo ponto central. Entretanto, em outras concretizações a disposição concêntrica pode ser proporcionada pela provisão da placa de capacitor 518a como plaquetas separadas dispostas concentricamente em torno do local central das bobinas 510 e 511 em vez de um centro comum, conforme ilustrado na Figura 30A. São igualmente possíveis as disposições geométricas diferentes.

A Figura 34 mostra a localização do bloco

514 na abertura 305 e as ranhuras 402 e é impelido pela mola 403 contra os ressaltos 401 para prender o bloco 514 no lugar com a bobina 510 disposta adjacente à face de rebordo 41a da barra 41.

5 Desta forma, a bobina 510 e a barra 41 formam um circuito lc de modo que quando a barra 41 se move, a corrente que passa através da bobina 510 é alterada.

 Com referência à Figura 34A e à Figura
10 34B, ilustra-se nas mesmas uma disposição de maior preferência das bobinas 510 e 511. Na concretização anteriormente descrita as bobinas 510 e 511 são bobinas do tipo panqueca geralmente circulares. Para formar mais facilmente as bobinas e possibilitar a interligação das
15 bobinas com outros componentes de circuito do gradiômetro, as bobinas 510 e 511 nas Figuras 34A e 34B são bobinas sinuosas formadas no bloco 514 em duas camadas separadas, as quais são separadas por isolamento conforme descrito anteriormente.

20 Tal como mais bem ilustrado na Figura 34A, a bobina de passo largo 511 serpenteia de maneira geralmente encurvada em ziguezague e tem braços 511a que são unidos por transições encurvadas 511b nas extremidades alternadas respectivas dos braços 511a, tal como
25 ilustrado na Figura 34A. A bobina de passo fino 510 não está ilustrada na Figura 34A. Entretanto, se a bobina de passo fino simplesmente seguir o meandro da bobina 511 de forma que haja um número de braços sinuosos

de passo fino dotados de corrente fluindo em direções opostas associadas com cada braço 511a, então a corrente nos braços da bobina de passo fino será simplesmente neutralizada mutuamente para produzir fluxo magnético líquido zero.

Para evitar que isto ocorra, a bobina de passo fino 510 serpenteia da maneira ilustrada na Figura 34B em relação à bobina 511. A bobina 510 é dotada de um primeiro braço 510a o qual acompanha a parte que segue a parte serpenteante da bobina 511 (que está ilustrada em linhas tracejadas na Figura 34B) até à extremidade oposta da bobina 511a, então retorna ao longo da seção de bobina 510b para formar um outro braço 510a' o qual então serpenteia da mesma maneira para retornar ao longo da parte de bobina 510c para formar novamente um outro braço 510a''. A bobina 510 então retorna ao longo da parte de circuito 510d para formar ainda um outro braço 510a'''.

Desta forma, a corrente que flui através dos braços 510a da bobina 510, que se sobrepõem aos braços 511a da bobina 511, é na mesma direção que está indicada pelas setas em cada um desses braços. Consequentemente, não ocorre cancelamento do fluxo magnético em cada bobina 510a associada com o braço sobreposto 511a da bobina 511. Por outro lado, a bobina 510 precisa somente cruzar sobre si mesma em um local 512a como ilustrado na Figura 34B a fim de proporcionar uma corrente de saída a partir da bobina 510. A parte de

bobina 512a pode estar em uma camada separada do restante da bobina 510 (por exemplo, a mesma camada da bobina de passo largo 511) de maneira que a camada de isolamento entre as bobinas 510 e 511 separa a parte de
5 circuito 512a em relação ao restante da bobina 510 ilustrada na Figura 34B).

A bobina 511 é dimensionada de forma tal que a largura W dos braços 511a da bobina de passo largo é maior do que o espaço d previsto entre a superfície
10 cie da barra 41 e a superfície do bloco 514 onde as bobinas 510 e 511 são depositadas, conforme ilustradas na Figura 34.

Tal como será evidente a partir da Figura 24, quatro transdutores 71 ficam dispostos adjacentes
15 às extremidades da barra 41. O outro alojamento 47 também é dotado de quatro transdutores dispostos adjacentes à barra 42. Desta forma, são proporcionados oito transdutores 71 no gradiômetro.

A Figura 35 é a diagrama das barras 41 e
20 42 mostrando as mesmas na sua configuração "em uso". Os transdutores que ficam localizados nas aberturas 305 são ilustrados pelos números de referência 71a a 71e para equiparar os diagramas de circuito das Figuras 36 e 37.

25 Com referência às Figuras 36 e 37, os transdutores 71a e 71b associados com a barra 41, e os transdutores 71g e 71e associados com a barra 42 são usados para proporcionarem as medições de gradiente de

gravidade.

Os terminais de entrada 361 proporcionam corrente de entrada para os circuitos supercondutores ilustrados na Figura 36. São proporcionados interruptores de calor que podem estar na forma de resistores 362, os quais são usados para ajustar inicialmente a corrente supercondutora dentro do circuito. Os interruptores de calor 362 são inicialmente ligados durante um período de tempo muito curto para aquecer as partes do circuito nas quais os resistores 362 estão localizados para sustar a supercondução dessas partes do circuito. Correntes podem ser então impostas no circuito de supercondução e quando os interruptores de calor formados pelos resistores 362 são desligados, as partes relevantes do circuito tornam-se novamente supercondutoras de forma que a corrente pode circular através dos circuitos submetidos a qualquer mudança causada pelo movimento das barras 41 e 42 sob a influência do gradiente de gravidade e aceleração angular, tal como será descrito mais adiante.

Os transdutores 71a, 71b, 71g e 71e são conectados em paralelo à linha de circuito 365 e à linha de circuito 366 que conecta a um SQUID 367.

Desta maneira, quando as barras 41 e 42 giram em torno de sua respectiva nervura de flexão, as barras 41 e 42, por exemplo, ficam mais próximas do transdutor 71a e conseqüentemente, mais afastadas do transdutor 71b, e mais próximas do transdutor 71h e a-

inda mais afastadas do transdutor 71g, respectivamente. Isto, portanto, muda a corrente que flui através dos transdutores e aquelas correntes são efetivamente subtraídas para proporcionarem sinais usados para proporcionar uma medida do gradiente de gravidade.

Tal como se encontra ilustrado na Figura 37, os transdutores 71c e 71d formam um circuito separado e são usados para sintonização de frequência da barra 41 e transdutores 71a e 71b. De forma assemelhada, os transdutores 71e e 71f são utilizados para sintonização de frequência da barra 42 e dos transdutores 71g e 71h. A sintonização de frequência das barras é importante porque as barras deverão ser idênticas a fim de rejeitar acelerações angulares. Conseqüentemente, os circuitos de sintonização de frequência possibilitam que a sintonização eletrônica das barras case as frequências ressonantes e consiga rejeição de modalidade de forma que cada uma das barras funcione de uma maneira idêntica.

Os transdutores 71a, 71b, 71g e 71h também são usados para formarem acelerômetros angulares para medirem o movimento angular do acessório 5, de forma que sinais de realimentação possam ser proporcionados para compensarem esse movimento angular.

Para fazer isto, a linha 366 é conectada a um transformador 370. A polaridade dos sinais provenientes dos transdutores 71a e 71b e 71g e 71h é invertida, de maneira que a saída do transdutor 370 nas linhas

371 e 372 é uma adição dos sinais em vez de uma subtração, como é o caso quando o gradiente é medido de forma que a adição dos sinais dá uma medida do movimento angular das barras. As saídas 371 e 372 são conectadas
5 ao dispositivo SQUID 375 para proporcionarem uma medida da aceleração angular que pode ser usada no circuito da Figura 10 para proporcionar sinais de compensação para estabilizarem o acessório 5.

Assim, de acordo com a concretização preferida da invenção, os acelerômetros angulares 90' proporcionam uma medição da aceleração angular; por exemplo, em torno dos eixos x e y, e o acelerômetro angular formado pelas barras 41 e 42 e os transdutores 71a, 71b, 71g e 71h proporcionam uma medida do acelerômetro
15 angular em torno, por exemplo, do eixo z.

Com referência às Figuras 38 e 39, será descrita a maneira Segundo a qual é conseguido o equilíbrio das barras 41 e 42. Proporciona-se um par de sensores de deslocamento formados pelos capacitores 400
20 e 401 para dois propósitos principais:

1. Medir a sensibilidade de aceleração linear residual de cada barra 41 (e 42) para permitir que as barras sejam equilibradas mecanicamente utilizando-se os parafusos sem
25 cabeça 301 descritos com referência à Figura 24, antes da operação sob baixas temperaturas; e
2. Medir a sensibilidade de aceleração linear

induzida de cada barra 41 e 42.

O capacitor 400 é formado pela placa de capacitor 518a descrita anteriormente e a superfície 41a da barra 41. Utiliza-se um segundo circuito que é o mesmo ilustrado na Figura 39, para medir a mudança experimentada pelo capacitor 401. Esse circuito é o mesmo da Figura 38 com a exceção de que o capacitor 400 é substituído pelo capacitor 401 que é formado por uma placa de capacitor e superfície 41a referente a outro dos transdutores 71.

As barras 41 e 42, nos seus respectivos alojamentos, são levadas a girar em um gabarito (não ilustrado) através de 360°. Isto proporciona uma faixa de aceleração de 2 g_E, que é tipicamente 100 vezes maior do que as acelerações que podem ser convenientemente aplicadas sob baixas temperaturas. Um requisito típico é para os capacitores 400 e 401 serem capazes de detectar 0,1 nm durante um período de 1 a 20 minutos. É requerido um par de capacitores 400 e 401 para cada barra para proporcionar alguma discriminação contra deslocamento de sensor, uma vez que a rotação da barra 41 fará com que um capacitor 400 aumente e o outro capacitor 401 diminua pela mesma quantidade, como está ilustrado na Figura 33, enquanto que a expansão térmica fará com que as duas saídas dos capacitores 400 e 401 aumentem. Os capacitores 400 e 401 permanecem na posição, mesmo que eles sejam não-utilizáveis sob baixas temperaturas, e portanto os seus componentes precisam ser não-

magnéticos de maneira a não interferirem com a operação do gradiômetro e, em particular, o seu circuito muito perto da supercondutividade.

A Figura 38 mostra que quando a barra 41 é articulada, o afastamento aplicável ao capacitor 400 diminui e o afastamento do capacitor 401 aumenta.

Os capacitores 400 e 401 são formados pela face 41a da barra 41 (e a face correspondente na outra barra 42) e segundas placas 405 que ficam espaçadas em relação à face 41a. O intervalo entre as placas dos respectivos capacitores 400 e 401 devem ser tipicamente decompostas para cerca de 1 ppm.

O capacitor 400 forma um circuito ressonante de alto fator Q com indutor 410. O indutor 410 e o capacitor 400 são proporcionados paralelos aos capacitores 411 e 412 e conectados por meio do capacitor 413 a um amplificador 414. A saída do amplificador 414 é proporcionada para um contador de frequência 415 e também realimentado entre os capacitores 412 e 411 pela linha 416. Portanto, o capacitor 400 determina a frequência de operação do amplificador 414 que pode ser com uma alta precisão.

Se a barra 41 estiver fora de equilíbrio, o contador de frequência 415 tenderá a derivar por causa do desequilíbrio da barra. Este pode ser ajustado pelo movimento dos parafusos sem cabeça 301 para dentro e para fora das massas como descrito anteriormente até ocorrer o equilíbrio. O amplificador 414 pode ser en-

tão desconectado do contador de frequência 415 de uma forma tal que o gradiômetro pode ficar disposto dentro do Dewar 1 com as outras partes dos circuitos ilustrados na Figura 39 no lugar.

5 A Figura 40 é uma vista detalhada de parte da barra 41 e alojamento 45 ilustrados na Figura 24 e marcados pelo círculo A. Uma vez que a barra 41 é conectada ao alojamento 45 por meio de uma nervura de flexão 59 muito fina, se a barra 41 se movimentar demasiadamente ela poderá exceder os limites elásticos da
10 nervura de flexão 59. Isto poderá degradar a junta de flexão e, portanto, o movimento da barra 41 sob a influência de diferenças no campo gravitacional experimentadas nas extremidades da barra 41.

15 A quantidade de movimento da barra 41 que normalmente ocorreria e que é requerida a fim de proporcionar sinais indicadores de probabilidade de mudança no campo gravitacional é da ordem de 10 micrômetros. Tipicamente, a barra 41 é cortada a partir do alojamen-
20 to 45 por uma operação de corte por fio que executa um corte tal como aquele assinalado por 550 in Figura 40 que tem uma espessura de cerca de 60 micrômetros. Desta forma, a quantidade de espaço que fica disponível para a barra 41 se movimentar excede em muito aquela
25 que é requerida e que pode exceder o limite elástico da nervura de flexão 59. Para impedir a barra 41 de se movimentar além do limite elástico (tal como mais do que mais ou menos 10 micrômetros) um corte é praticado

adjacente à extremidade da barra 41. Um corte assemelhado é praticado na outra extremidade da barra 41 que não está ilustrado na Figura 40. O corte 551 é proporcionado com um furo alargado 552. O corte 550 que define a extremidade da barra 41 é provido de uma seção perfilada 553 que define uma primeira superfície de encosto 554 e uma segunda superfície de encosto 555.

A tira muito fina de material 556 entre o corte 551 e o corte 550 tem um perfil 557 que casa com o perfil 553, exceto que as superfícies de encosto 558 e 559 formadas na extremidade do perfil 557 ficam afastadas uma da outra segundo uma distância de 20 micrômetros menos do que o espaço entre a superfície de encosto 554 e 555. Desta forma, as superfícies de encosto 558 e 559 podem mover-se na direção da seta B (tal como será explicado mais adiante) de maneira que as superfícies de encosto 558 e 559 movem-se no perfil 553 adjacente e levemente espaçadas em relação às superfícies 554 e 555.

A tira de material fina 506 é movida na direção da seta B para deste modo localizar as superfícies de encosto 558 e 559 pela inserção de um pino no furo 552 que empurra a tira de material 556 na direção da seta B de maneira que as superfícies 558 e 559 ficam em registro com as superfícies 554 e 555. Desta forma, as superfícies 554 e 558 ficam afastadas uma da outra Segundo uma distância de cerca de 10 micrômetros e as superfícies 555 e 559 ficam espaçadas uma da outra se-

gundo uma distância de cerca de 10 micrômetros. Assim, quando a barra 41 se movimenta na direção da seta de cabeça dupla C na Figura 40 perto da nervura de flexão 59, a quantidade de movimento é limitada a 10 micrômetros porque a superfície 554 então irá contactar a superfície 558 e o contacto destas superfícies impedirá maior movimento da barra 41. De uma forma assemelhada, se a barra 41 for movimentada na direção oposta, então a superfície 555 irá contactar as superfícies 559 para limitar novamente o movimento para cerca de 10 micrômetros.

Conseqüentemente, o movimento da barra 41 é limitado a um movimento dentro do limite elástico da nervura de flexão 59 de modo que a nervura não é degradada e não influencia prejudicialmente a operação do gradiômetro.

As Figuras 41 e 42 são desenhos mais detalhados que mostram o conector 5a que é usado para conectar sinais elétricos vindos do interior do Dewar 1 para os componentes (não ilustrados) fora do Dewar 1. Em particular, a estrutura e circuito das Figuras 41 e 42 destina-se a proteger o dispositivo SQUIDS 367 da interferência de RF que pode de outro modo ocorrer se houver simplesmente um terminal de fio passando através da placa extrema 4 para os componentes externos.

O conector 5a compreende um recipiente 560 que é dotado de uma parede de fundo 561 vedada em relação à placa extrema 4 por meio de um anel de seção cir-

cular 562. Um condutor tal como aquele marcado por 563
passa do interior do Dewar 1 através da placa extrema 4
para uma alimentação através do filtro 564 montado na
parede de fundo 561. Um primeiro defletor 567 suporta
5 uma tampa de três terminais 565 que é conectada à ali-
mentação através do filtro e a tampa 565 é conectada a
um relé 566 que é suportado em um segundo defletor 567.
O relé 566 inclui uma chave de relé 568 (vide Figura
42) que por sua vez passa através de um elemento de co-
10 nexão 570 no recipiente 560 para um condutor 571 para
conexão aos componentes externos (não ilustrados).

Tal como se encontra ilustrado na Figura
41, o condutor 563 é conectado à alimentação através do
filtro 564 que é compreendido de um indutor 571 e um
15 capacitor 572 que é conectado em paralelo ao indutor
571 em um lado e à terra no outro lado. O indutor 571
é conectado à tampa de três terminais 565 que compreen-
de um indutor 573, um indutor 574 e um capacitor 575.
O capacitor 575 é conectado em paralelo aos indutores
20 573 e 574 em um lado e é ligado à terra no outro lado.
O indutor 574 está conectado ao relé 566 que compreende
uma bobina de relé 575 e a chave de relé 568. Quando
se deseja conduzir sinais do condutor 563 para o condu-
tor 571, fornece-se corrente à bobina de relé 575 para
25 fechar o interruptor 568, de maneira que os sinais po-
dem passar através do filtro 564, da tampa de três ter-
minais 565, da chave de relé 568 para o condutor 571.
O relé sendo aberto quando sinais não são conduzidos,

corta o circuito em relação ao condutor 571 para o condutor 563 e a tampa de três terminais 565 e alimentação através do filtro 564 protegendo ainda o dispositivo SQUID dentro do Dewar 1 durante a operação do gradiômetro, de maneira a eliminar interferência de RF proveniente de fontes externas, tais como sinais de televisão e assemelhados, de serem conduzidos através do terminal 5a para os dispositivos SQUIDs 367.

Em outras concretizações os capacitores 572 e 575 podem ser substituídos por resistores.

A Figura 42A mostra outra parte da blindagem de RF localizada nos conectores 5b. Cada um dos fios 563 (somente um ilustrado nas Figuras 41 e 42A) compreende partes de fios trançados, com cada par sendo blindado individualmente. Cada fio em cada par de fios 563 é conectado ao indutor 579a e 579b e dois resistores 579c que são conectados em paralelo com os respectivos indutores 579a e 579b para proporcionarem maior atenuação de RF.

As Figuras 43 e 44 mostram a configuração física e diagrama de circuito de uma das barras de medição (isto é, a barra 41) e um diagrama de circuito respectivamente que ilustra a sintonização do espaçamento efetivo da bobina de sensor de cada transdutor com relação à borda 41a da barra 41. Nas concretizações ilustradas, o transdutor 71b é provido de duas bobinas 510 e 516 que podem ser as bobinas anteriormente descritas com referência à Figura 28. As bobinas 510 e

516 são separadas por um espaço de cerca de 1 mm. A chave térmica 362 é proporcionada no laço formado pelas bobinas 510 e 516 e a bobina 601 do transdutor 71a na outra extremidade da barra 41. A fim de assegurar que as bobinas 601 e 510 fiquem espaçadas a igual distância das superfícies 41a da barra 41, a corrente que flui através do laço formado pelas bobinas 510, 516 e 601 é proporcionada entre as bobinas 510 e 516 para formar uma bobina virtual, por exemplo, no local D mostrado na Figura 44. Pela mudança da proporção da corrente que flui através das bobinas 510 e 516, a posição D muda entre as bobinas para formar uma bobina virtual efetiva nessa posição. Desta forma, se as bobinas 510 e 601 não forem espaçadas igualmente em relação às suas superfícies respectivas 41a, a corrente induzida no laço pode ser alterada para, por sua vez, alterar a quantidade de corrente que flui através de cada uma das bobinas 510 e 516 para ajustar a posição D e, conseqüentemente, a localização virtual de uma única bobina formada a partir das bobinas 510 e 516 até que o espaçamento coincida com aquele da bobina 601.

Se desejado, a bobina 601 poderá ser substituída por uma disposição de bobina dupla da mesma forma que aquela que forma o transdutor 71b ilustrado na Figura 44. Naturalmente, os transdutores 71a e 71b podem ser idênticos àqueles descritos com referência às Figuras 27 e 28 em que a bobina larga 511 que forma um transformador é proporcionada para aumentar a corrente

que é fornecida ao dispositivo SQUID 367. Para facilidade de ilustração, a bobina adicional 511 e os outros componentes descritos com referência à Figura 27 até à Figura 33 não estão representados.

5 Tal como exposto anteriormente, o SQUID 367 é sintonizado inicialmente pela indução de uma corrente no laço formado pelas bobinas 510 e 601. Isto é conseguido pelo suprimento de corrente ao resistor de aquecimento 362 que forma uma bomba de calor para ele-
10 var a parte do laço na posição do resistor 362 para aquecer essa parte do circuito acima da transição de supercondução de forma que essa parte do circuito não seja mais supercondutora. Assim, uma corrente pode ser fornecida ao laço a partir de, por exemplo, entradas
15 517 descritas com referência às Figuras 27 a 33 e que não estão ilustradas na Figura 44, de maneira que corrente circula através do laço e o suprimento de corrente conectado aos terminais 517 e 518. O resistor de aquecimento 362 é então desativado de maneira que a
20 parte do circuito torna-se novamente supercondutora e o suprimento de corrente é desligado do laço de forma que a corrente induzida no laço continua a circular através do laço sob condições de supercondução.

 Para proporcionar a corrente através das
25 bobinas 510 e 516, proporciona-se uma outra chave térmica 362' que permite que uma corrente seja induzida no laço formado pelas bobinas 510 e 516 que pode circular na direção da seta E na Figura 44. A corrente induzida

pela chave térmica 362 circula na direção da seta F. Conseqüentemente, a quantidade de corrente que passa através da bobina 510 pode ser alterada em comparação com aquela que passa através da bobina 516, desviando
5 assim a posição da bobina virtual formada pelas bobinas 510 e 516. Desta forma, consegue-se eletronicamente o espaçamento das bobinas, de maneira que o espaçamento da bobina 510 e da bobina 601 são os mesmos.

Essa corrente é levada a passar proporcio-
10 nalmente através das bobinas 510 e 516 para fixar a posição virtual da bobina 510 na posição D se necessário, de forma que as bobinas 601 e 501 são espaçadas efetivamente em relação às superfícies 41a precisamente a mesma distância. Uma vez que a barra 41 se movimenta
15 sob a influência do gradiente de gravidade, as bobinas 601 e 510 serão portanto movidas em relação às superfícies 41a, mudando a corrente induzida que passa através dessas bobinas que, por sua vez, é detectada pelo dispositivo SQUID 367 para proporcionar uma medida do mo-
20 vimento e, conseqüentemente, do gradiente de gravidade experimentado pela barra 41.

As bobinas 601 e 510 permitem que o movimento angular seja diferenciado em relação ao movimento lateral. Qualquer movimento lateral da barra 41 para a
25 direita ou para a esquerda na ilustração da Figura 45 produzirá o mesmo efeito nas duas bobinas, enquanto um movimento angular sob a influência do gradiente de gravidade fará com que uma extremidade da barra 41 se mova

para mais perto da sua bobina correspondente e a outra extremidade se mova para ficar mais afastada da sua bobina.

Muito embora as chaves térmicas 362 anteriormente descritas possam assumir a forma convencional de resistores, em uma concretização da invenção as chaves térmicas compreendem material semicondutor, tal como um sensor de efeito de Hall 570, tal como ilustrado na Figura 45. O sensor de efeito de Hall 570 é dotado de condutores 571 e 572 para excitação do sensor para, por sua vez, elevar a temperatura de parte do circuito rotulado por 575 ao qual se refere acima do limite supercondutor, de forma a abrir efetivamente o circuito nesse ponto para que uma corrente possa ser induzida no circuito a partir de uma fonte externa e, assim, quando o sensor é desligado e o dispositivo retorna para a operação criogênica, a corrente induzida fornecida pela fonte externa simplesmente continua a circular através do circuito sob condições supercondutoras.

O uso do material semicondutor material e, em particular, do sensor de efeito de Hall tem a vantagem de que ele funciona no ambiente frio, é não-magnético e também é muito compacto.

Por outro lado, o sensor de efeito de Hall 570 tem ainda a vantagem ser não-magnético e capaz de ser aquecido. As características não-magnéticas, desse modo, evitam interferência com um circuito supercondutor e a característica usualmente indesejável de capa-

cidade de aquecimento do sensor 570 permite que o sensor 570 seja usado como a chave tal como explicada anteriormente. O sensor 570 também é dotado de alta resistência na ordem de 1K ohm a 4°K, o que também é vantajoso.

As Figuras 45A a 45E mostram a chave térmica 570 e sua disposição no gradiômetro de forma mais detalhada. Com referência a estas figuras e em particular na Figura 45A, a barra 41 no alojamento 45 está ilustrada junto com os transdutores 71. Um painel de circuito 850 é suportado pelo alojamento em uma ranhura 861 (vide Figura 45C) e localizado na posição por parafusos 863 (apenas um ilustrado na Figura 45C). O painel de circuito 850 suporta circuitos eletrônicos, tais como o dispositivo SQUID e assemelhados, que estão ilustrados coletivamente pelo bloco 859 na Figura 45C. Com referência às Figuras 45A e 45B, também tal como foi exposto anteriormente, o bloco de núcleo Macor 514 onde estão depositadas as bobinas 510 e 511 é dotado de tiras 537 para conduzirem corrente para o circuito 859. Tal como exposto anteriormente, o 514 é impelido para a posição pela mola 403.

O painel de circuitos 850 é dotado de uma pluralidade de tiras condutoras 856 que, nesta concretização, são formadas a partir de material supercondutor, por exemplo, nióbio, que é interligado com os circuitos 859. As tiras 537 são conectadas às tiras 856 por pontes 852 também formadas de nióbio. As pontes

852 são separadas da mola 403 por meio de isolamento que pode ser um revestimento de verniz na mola 403 ou alternativamente mediante espaçamento adequado das pontes 852 em relação à mola 403.

5 Como é mais bem ilustrado na Figura 45C, o painel de circuitos 850 é dotado de um substrato condutor, tal como um substrato de cobre 865 na sua superfície inferior onde fica localizado o sensor de efeito de Hall 570. Tal como mais bem ilustrado na Figura 45D o
10 sensor 570 é dotado de quatro terminais ou pinos conectores 867. Nesta concretização somente são usados dois dos pinos 867 de maneira a fazer com que uma corrente flua através do sensor 570 a partir dos condutores de corrente 571 e 572. Os condutores 571 e 572 conectados
15 com os atenuadores 869 formados a partir do material de substrato de cobre que é causticado em 870 para isolar os atenuadores 867 em relação ao restante do substrato 865. Tal como ilustrado na Figura 45E, os condutores 571 e 572 passam através do painel de circuitos 850 e
20 fios de cobre finos 873 podem ser usados para unir os condutores 571 e 572 aos pinos 867.

 O circuito supercondutor 575 é enrolado em torno dos pinos 867 de forma tal que quando corrente passa através do sensor 570 o sensor é aquecido e esse
25 calor é conduzido para o pino 867 para, por sua vez, aquecer a parte do circuito 575 enrolada em torno do pino 867 para abrir o circuito, tal como exposto anteriormente. O circuito 575 é fixado ao substrato de co-

bre 865 nos locais 879 na Figura 45D por meio de verniz ou assemelhado, de forma que quando o sensor 570 é desligado o pino 867 e o circuito 575 esfriam rapidamente porque calor pode ser conduzido para fora através do substrato 865. Desta forma, o circuito 575 retorna para o seu estado fechado supercondutor.

A concretização preferida da chave térmica 570, portanto, tira vantagem da característica usualmente indesejável desses dispositivos aquecerem o dispositivo, bem como a natureza não-magnética e alta resistência do dispositivo.

Tal como se encontra ilustrado na Figura 44, se o transdutor 71a também for formado por uma bobina dupla 601 e 601a tal como se encontra ilustrada pelas linhas tracejadas, pode-se fazer circular a corrente somente através de cada laço formado pelas respectivas bobinas 510 e 516, e 601 e 601a, produzindo desta forma corrente zero no condutor 576 ao qual está conectado o dispositivo SQUID. Portanto, a perturbação de microfonismo de condutor que leva ao dispositivo SQUID 367 é removida.

Ainda em outra concretização da invenção, em vez de proporcionar um par de barras de medição formadas pelas barras 41 e 42, pode ser proporcionado pelo menos um par de barras extras ortogonais. O segundo par de barras pode ser da mesma configuração das barras 41 e 42 e seus respectivos alojamentos 45 e 47 e pode ser localizado nas posições dos acelerômetros 90'' i-

lustrados na Figura 22. Esta disposição encontra-se ilustrada in Figura 46. O primeiro par de barras proporcionadas nos alojamentos 45 e 47 que estão ilustrados nas Figuras 22 e 46 proporcionam respectivamente
 5 uma medida da diferença entre os componentes tensores G_{zz} e G_{yy} ($G_{zz} - G_{yy}$) e o segundo par de barras proporcionadas nos alojamentos assinalados por 45' e 47' na Figura 46 proporcionam uma medida da diferença entre os componentes sensores G_{zz} e G_{xx} ($G_{zz} - G_{xx}$).

10 Deverá ser compreendido que os subscritos dados aos componentes mencionados anteriormente são com relação aos eixos X e Y que estão em um plano horizontal e ortogonal, e um eixo Z que é um eixo vertical. Tal como mencionado anteriormente, as barras 41 e 43
 15 nos alojamentos 45 e 47 são ortogonais com relação uma à outra e as barras nos alojamentos 45' e 47' também são ortogonais com relação uma à outra. As barras 41 e 43 também são dispostas em planos espaçadas os quais são ortogonais aos planos espaçados onde estão localizadas as barras dos alojamentos 45' e 47'.
 20 Deverá ser ainda compreendido que na Figura 46 o gradiômetro não está ilustrado na orientação que ele deveria assumir quando em uso. Quando em uso, o gradiômetro é efetivamente levado a girar 90° em relação à posição ilustrada
 25 na Figura 46, de maneira que a linha pontilhada na n Figura 46 forma o eixo X ou direção de vôo da aeronave que carrega o gradiômetro. A maneira pela qual o movimento das barras nos alojamentos 45' e 47' são executa-

dos e proporcionam sinais de medição é exatamente a mesma que foi descrita nas concretizações anteriores. Tipicamente, quando se executa um voo de aerolevante-
5 mento, a aeronave voa de acordo com o rumo geológico da região em que está sendo realizado o levantamento. A provisão de dois conjuntos de barras no gradiômetro ilustrado na Figura 46 resulta em um único voo medindo-se simultaneamente os dados provenientes dos dois conjuntos de barras de medição e, portanto, tem a vantagem
10 de que os dados são aplicáveis ao mesmo ponto ao longo das linhas de levantamento.

Nas várias concretizações da invenção, os dados que são coletados a partir dos dois conjuntos de barras de levantamento podem ser manipulados por um
15 processador 800 ilustrado na Figura 46 para proporcionar uma medida de um ou mais do que um componente do tensor de gradiente de gravidade. Uma vez que os dados são recebidos a partir de dois conjuntos de barras de medição e são processados, a medida real de um compo-
20 nente do tensor, tal como o componente G_{zz} , pode ser obtida para pontos individuais ao longo de uma linha de levantamento. Conseqüentemente, isto permite que aerolevantamentos sejam conduzidos voando em linhas muito mais amplas do que como é o caso com levantamentos geo-
25 lógicos convencionais, e portanto o gradiômetro da concretização da Figura 46 pode ser usado para levantamentos geológicos e levantamentos regionais com as linhas de levantamento tendo uma distância de afastamento re-

lativamente grande.

Nas situações onde são usadas apenas duas barras, precisa ser obtida uma grade de dados a fim de possibilitar o processamento por uma técnica de transformação matemática com a finalidade de se obterem medições de um único componente do tensor. Isto geralmente requer que a grade seja produzida pelo vôo em linhas de levantamento relativamente fechadas e por causa da natureza do processamento, os dados são apresentados usualmente como uma grade de dados que proporciona uma indicação global da região de levantamento. Desta maneira, com a presente concretização da invenção, os dados que são coletados a partir do ponto de interesse real são analisados para produzirem o componente. Se forem utilizadas somente duas barras, é necessária uma grade de dados e é requerido processamento por meio de uma técnica de transformação de Fourier ou assemelhada, onde os dados provenientes do ponto em particular mais os pontos circundantes são usados para obter-se uma medida do componente. Desta forma, a fim de que a medição seja exata, é necessário que as linhas de levantamento estejam próximas umas das outras.

Ainda em outras concretizações da invenção, um outro conjunto de barras de medição poderá ser proporcionado de forma tal que são usadas seis barras para proporcionarem medições para permitir novamente que várias combinações de componentes sejam manipuladas pelo processador para se obterem medições em relação a

qualquer componente desejado do tensor de gradiente de gravidade que possam ser requeridas. Estas medições adicionais deverão também permitir processamento adicional para aperfeiçoar sinal para ruído.

5 Tal como exposto anteriormente, os dados provenientes dos transdutores (não ilustrados na Figura 46) que detectam o movimento das barras 41 e 43 dão fornecidos a um dispositivo SQUID 367. O dispositivo SQUID 367 está ilustrado apenas de forma esquemática na
10 Figura 46 para propósitos ilustrativos. Os dados produzidos pelo dispositivo SQUID podem ser manipulados pelo processador 800 que pode ser conectado fisicamente ao gradiômetro da Figura 46 mas que, mais provavelmente do que não, é um processador separado em um local remoto.
15 Se o processador 800 estiver em um local remoto, os dados provenientes do dispositivo SQUID 367 e outros componentes de processamento associados com o gradiômetro podem ser registrados em um meio suscetível de ser gravado 900 e carregados no processador 800 para manipulação ou podem ser enviados ao processador 800 por um
20 enlace de comunicação. O processador 800 processa os dados obtidos a partir de dois conjuntos de barras de medição da seguinte maneira:

$$G_{xx} + G_{yy} + G_{zz} = 0 \quad (\text{Equação 1})$$

$$25 \quad G_{zz} - G_{xx} \quad (\text{Medição 1})$$

$$G_{zz} - G_{yy} \quad (\text{Medição 2})$$

sendo a equação 1 uma relação conhecida entre os componentes do tensor de gradiente de gravida-

de dada na equação 1;

sendo a medição 1 aquela medição obtida
pelo primeiro par de barras;

sendo a medição 2 aquela medição obtida
5 pelo segundo par de barras;

a soma das medições 1 e 2 dá:

$$\begin{aligned} G_{ZZ} - G_{XX} + G_{ZZ} - G_{YY} \\ = 2G_{ZZ} - G_{XX} - G_{YY} \\ = 2G_{ZZ} - (G_{XX} + G_{YY}) \end{aligned} \quad (\text{Equação 2})$$

10 a partir da equação 1 $G_{XX} + G_{YY} = -G_{ZZ}$ e substituindo-se na equação 2 dá:

$$\begin{aligned} 2G_{ZZ} - (-G_{ZZ}) \\ = 3G_{ZZ} \end{aligned}$$

Uma vez que modificações dentro do espírito e escopo da invenção podem ser facilmente realizadas
15 por pessoas versadas na técnica, deverá ser compreendido que a presente invenção não fica limitada à concretização particular descrita anteriormente somente a título de exemplo.

20 Nas reivindicações que se seguem e na descrição precedente da invenção, exceto onde o contexto requer de outro modo devido a linguagem expressa ou implicação necessária, a palavra "compreende" ou variações tais como "que compreende" ou "compreendendo" são
25 usadas em um sentido inclusivo, isto é, para especificar a presença dos aspectos expostos, mas não impedir a presença ou adição de outros aspectos em várias concre-

tizações da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1 - Gradiômetro de gravidade para medir componentes do tensor de gradiente de gravidade, **caracterizado pelo fato** de compreender:

5 pelo menos uma barra sensória para movimento em resposta ao gradiente de gravidade;

 um transdutor para medir o movimento da barra sensória para proporcionar uma medida de pelo menos um componente do tensor de gradiente de gravidade;

10 um alojamento para suportar a barra sensória; e

 um elemento de nervura de flexão formado separado do alojamento e da barra e tendo uma nervura de flexão, sendo o elemento conectado à barra e ao alojamento para suportar a barra no alojamento para movimento giratório em torno da nervura de flexão.

2 - Gradiômetro, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato** de que o elemento de nervura de flexão é dotado de uma configuração em cauda de andorinha dupla com um recorte separando as caudas de andorinha da configuração em cauda de andorinha dupla, exceto para a localização da nervura de flexão, sendo o alojamento dotado de um canal em forma de cauda de andorinha e sendo a barra sensória dotada de um canal em forma de cauda de andorinha para receber o elemento para, dessa forma, conectar o elemento ao alojamento e à barra.

3 - Método para formar uma nervura de fle-

xão em um gradiômetro de gravidade para medir componentes do tensor de gradiente de gravidade, sendo o gradiômetro de gravidade dotado de uma barra sensória montada em um alojamento de maneira que a barra sensória possa mover-se em relação ao alojamento em resposta ao gradiente de gravidade para proporcionar uma medida de pelo menos um componente do tensor de gradiente de gravidade, **caracterizado pelo fato** de compreender:

10 formar um componente de conexão na barra e um componente de conexão no alojamento, fixar um elemento de nervura de flexão separado que tem um componente correspondente ao componente na barra e um componente correspondente ao componente no alojamento à barra e alojamento por aquecimento de um do alojamento e barra, e o elemento, e resfriamento do outro do alojamento e barra, e o elemento, e localizar os componentes respectivos em conjunto, de maneira que quando o alojamento, barra e elemento retornam para substancialmente a mesma temperatura, o elemento é conectado à barra e alojamento por contração e expansão do alojamento, barra e elemento.

4 - Gradiômetro, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato** de que os componentes na barra e alojamento são canais em forma de cauda de andorinha e os componentes no alojamento são elementos em forma de cauda de andorinha correspondente separados por um recorte exceto quanto à localização da nervura de flexão.

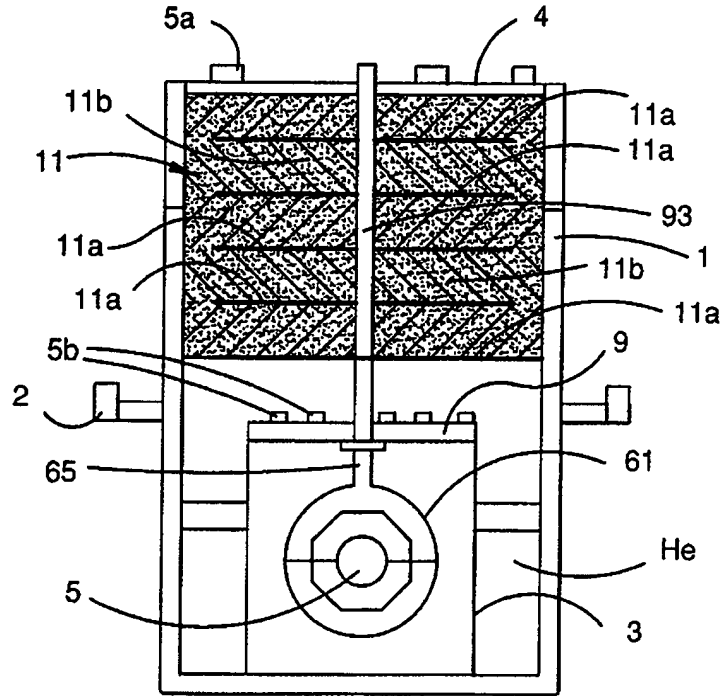


FIGURE 1

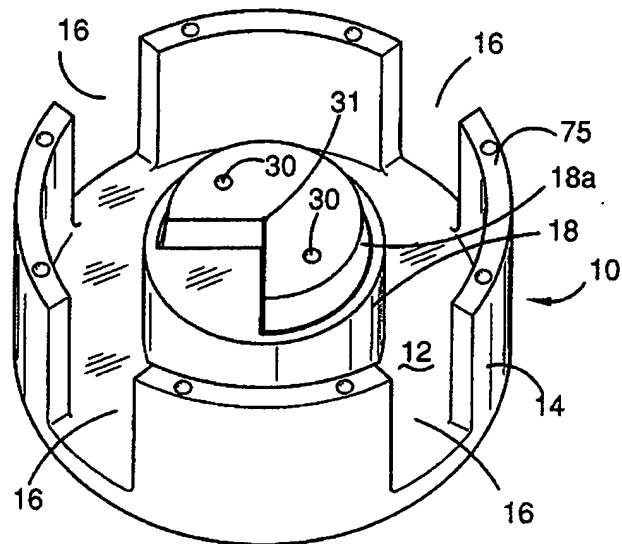


FIGURE 2

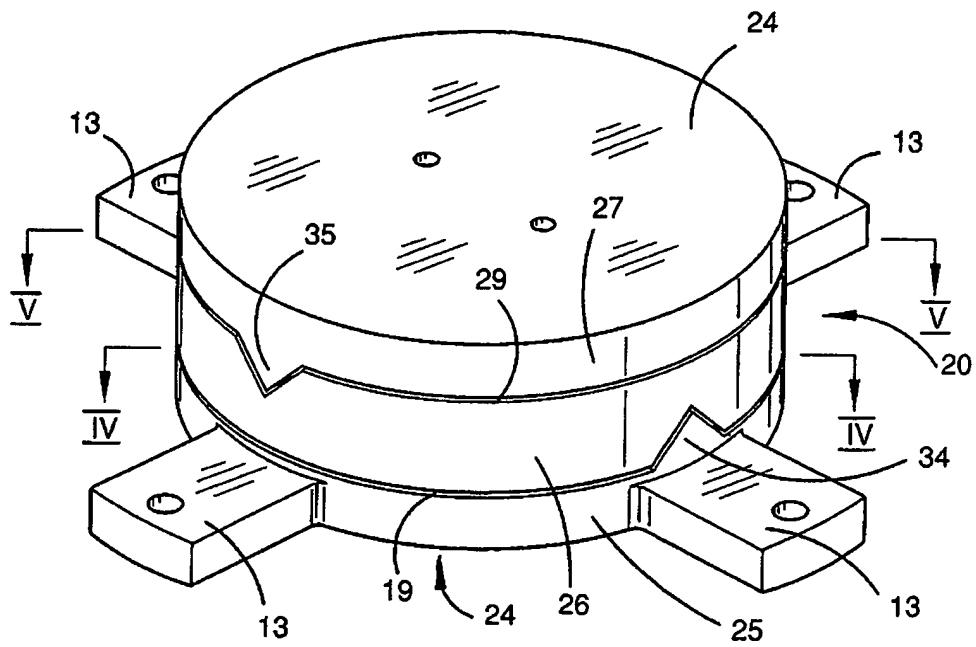


FIGURE 3

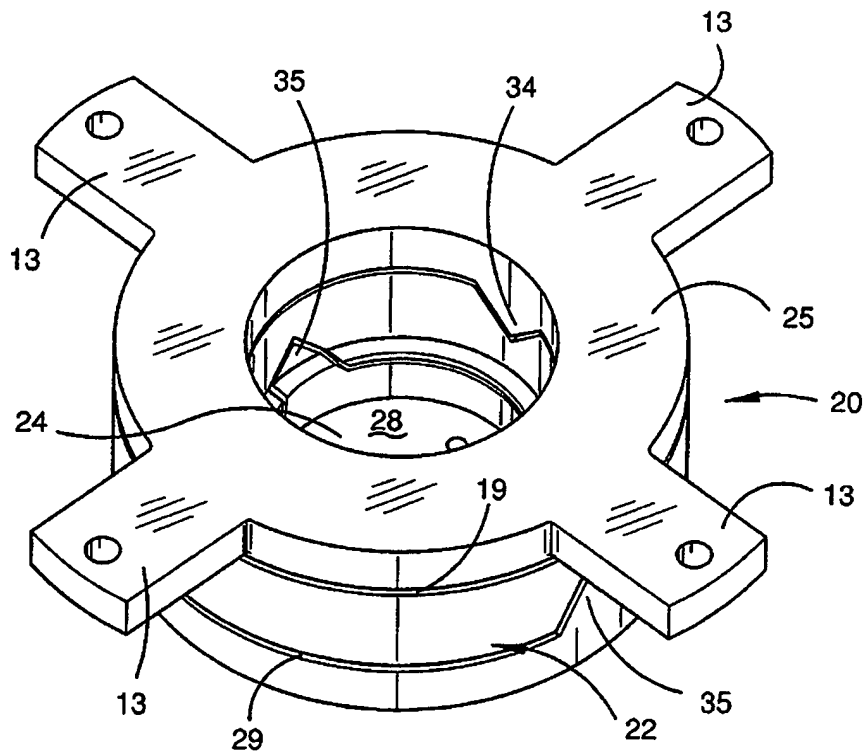


FIGURE 4

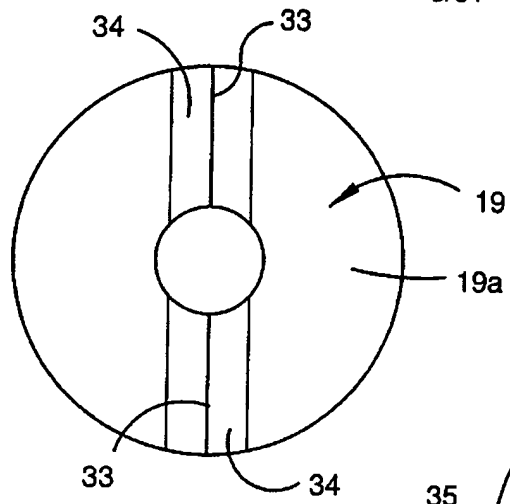


FIGURA 5

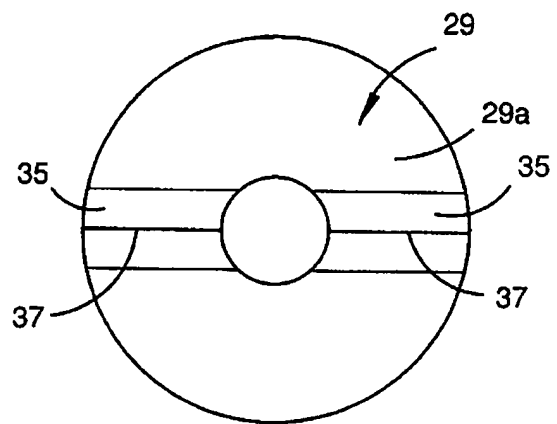


FIGURA 6

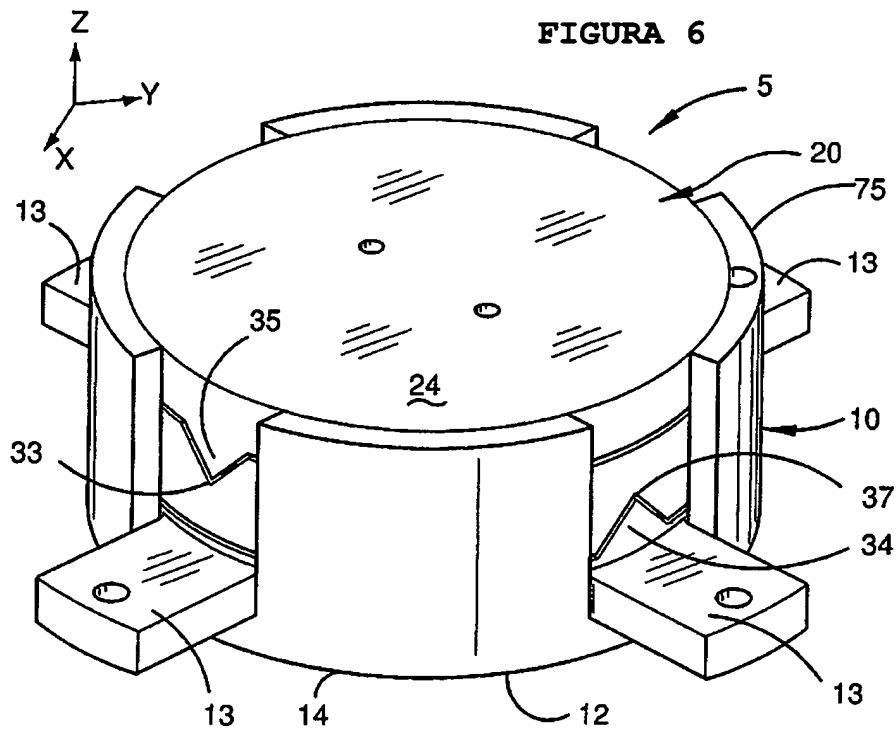


FIGURA 7

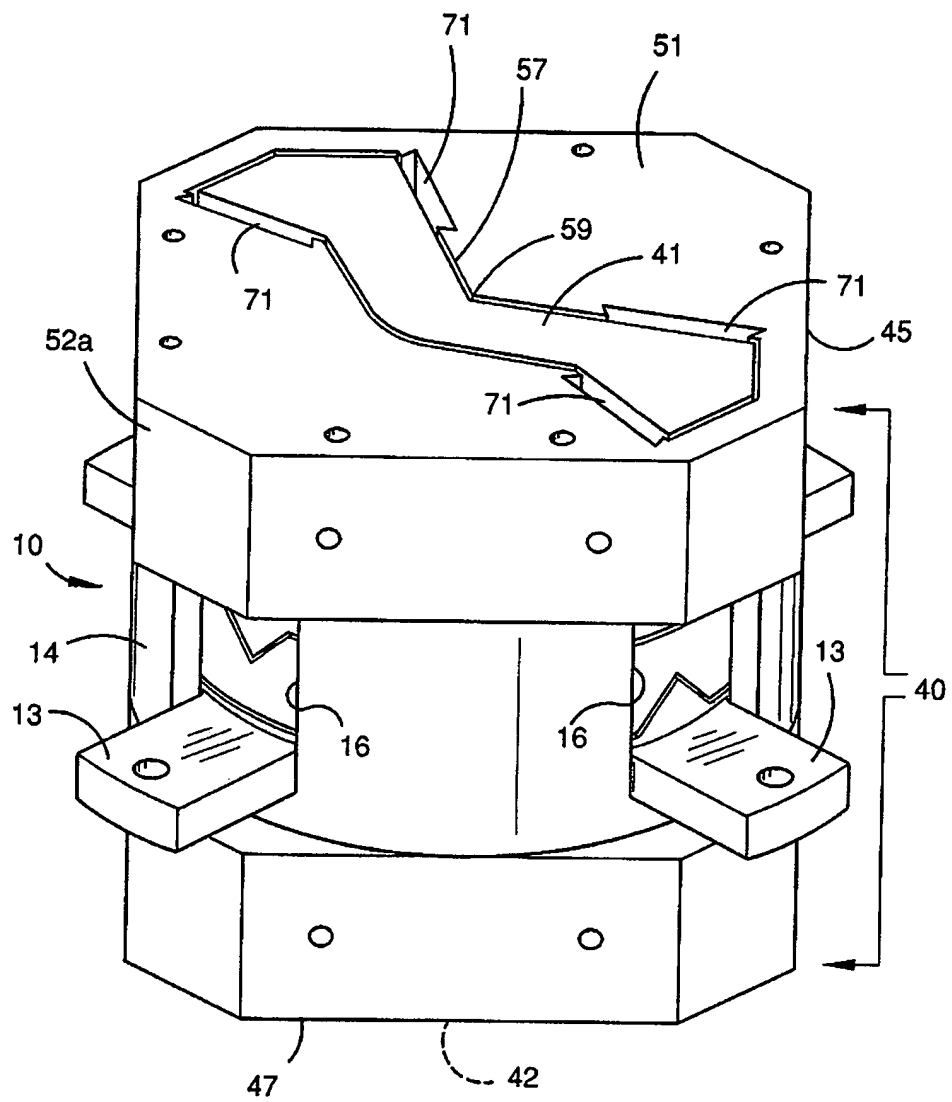


FIGURA 8

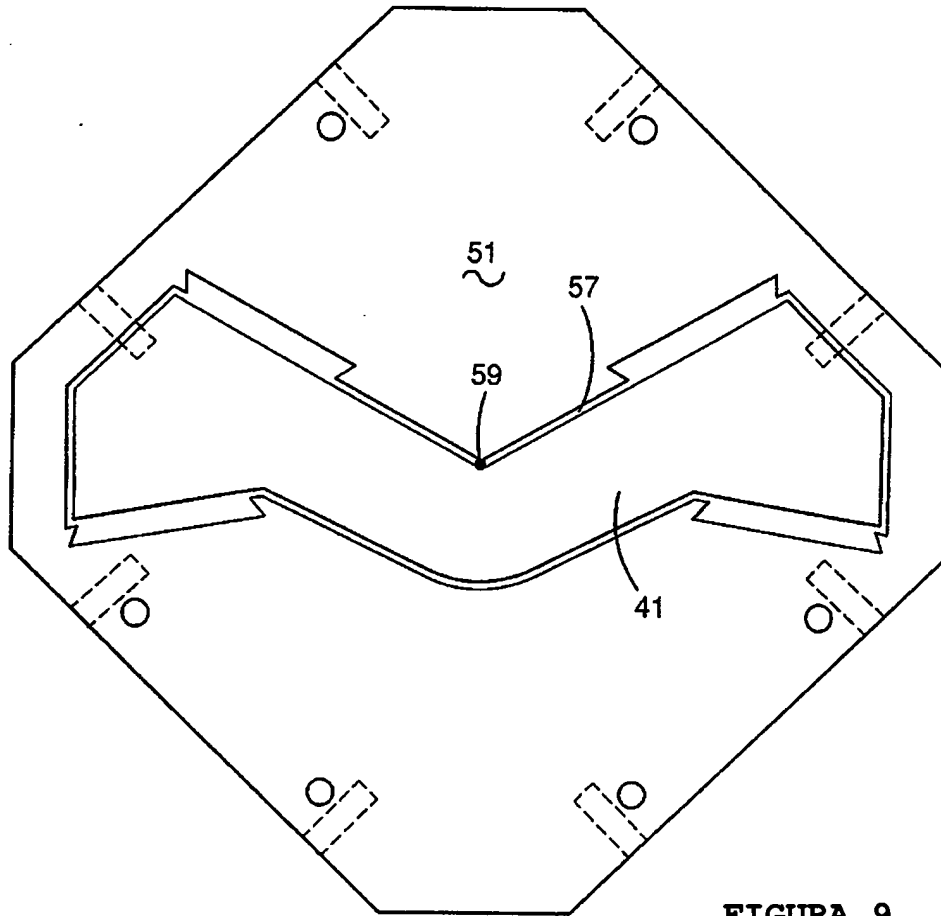


FIGURE 9

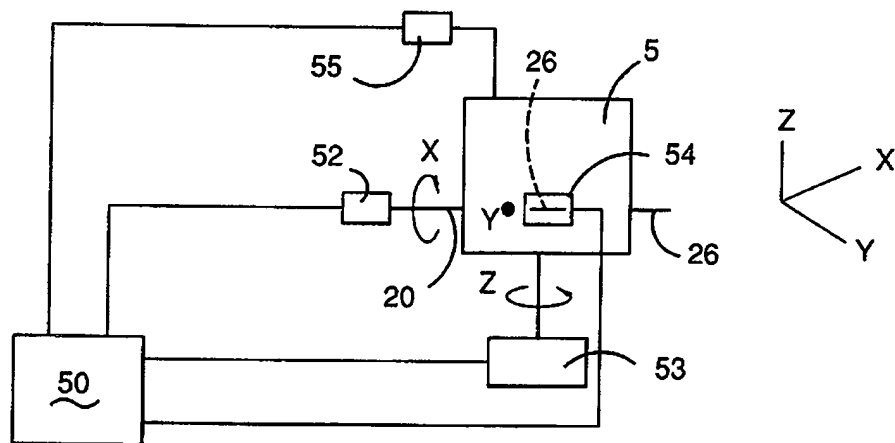


FIGURE 10

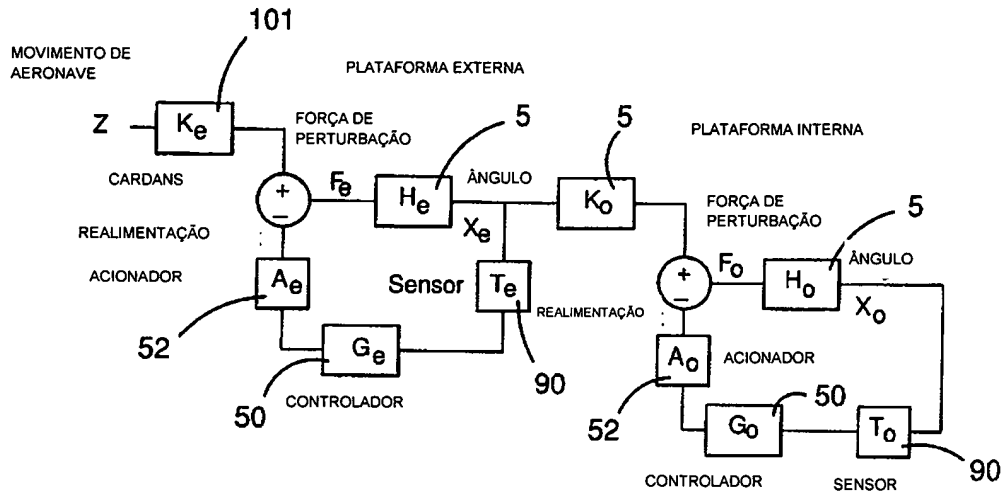


FIGURA 11

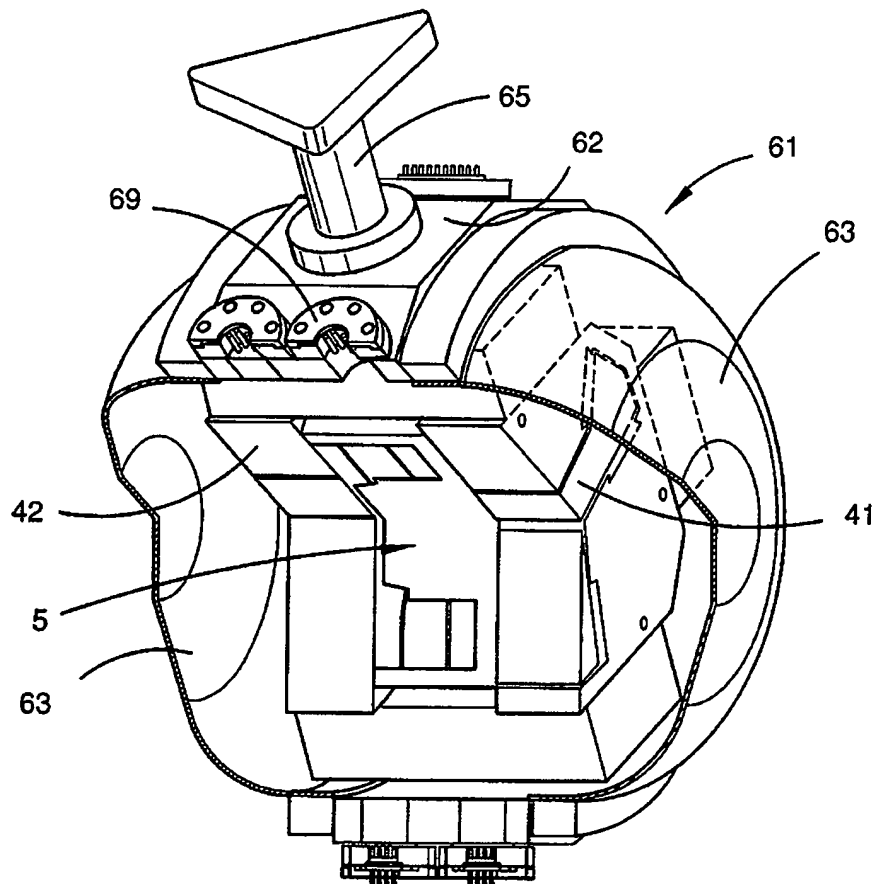


FIGURA 12

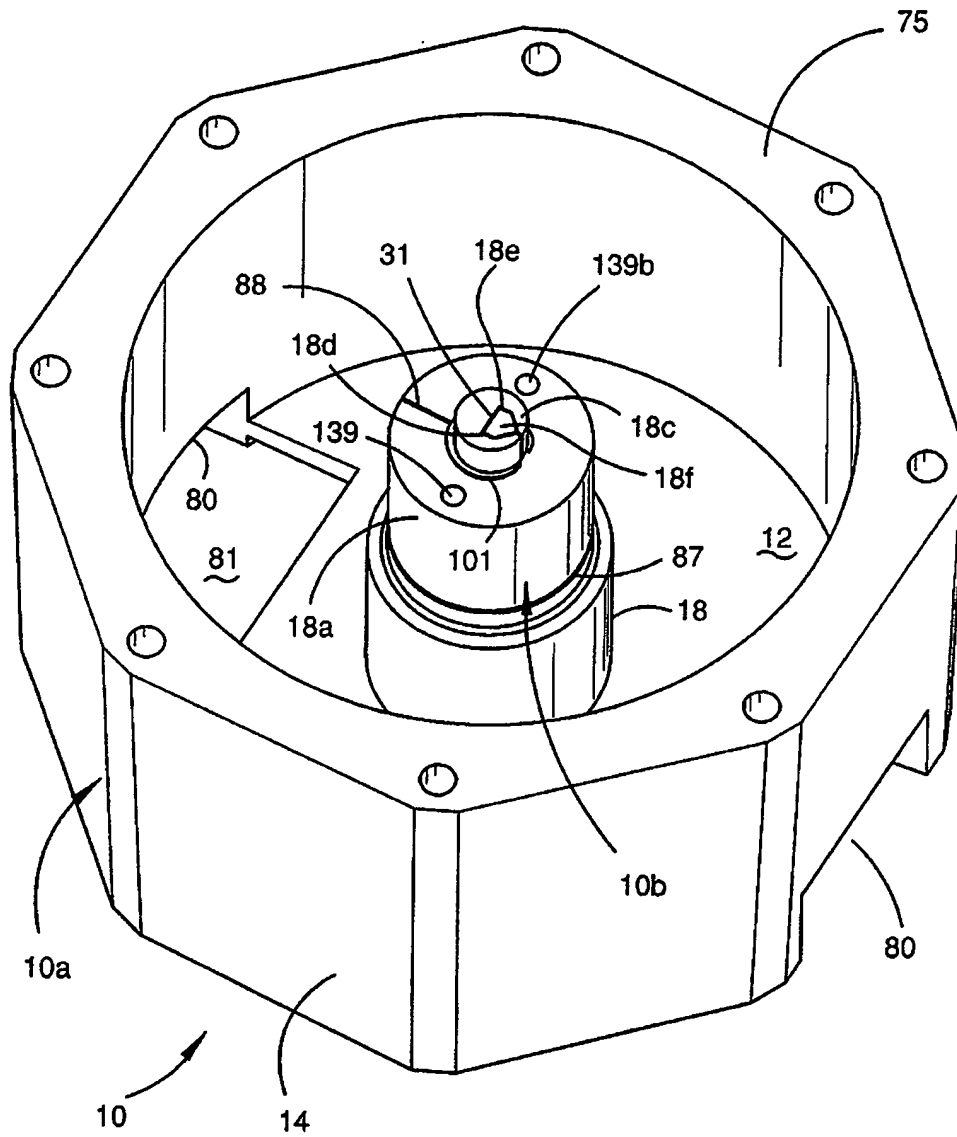


FIGURE 13

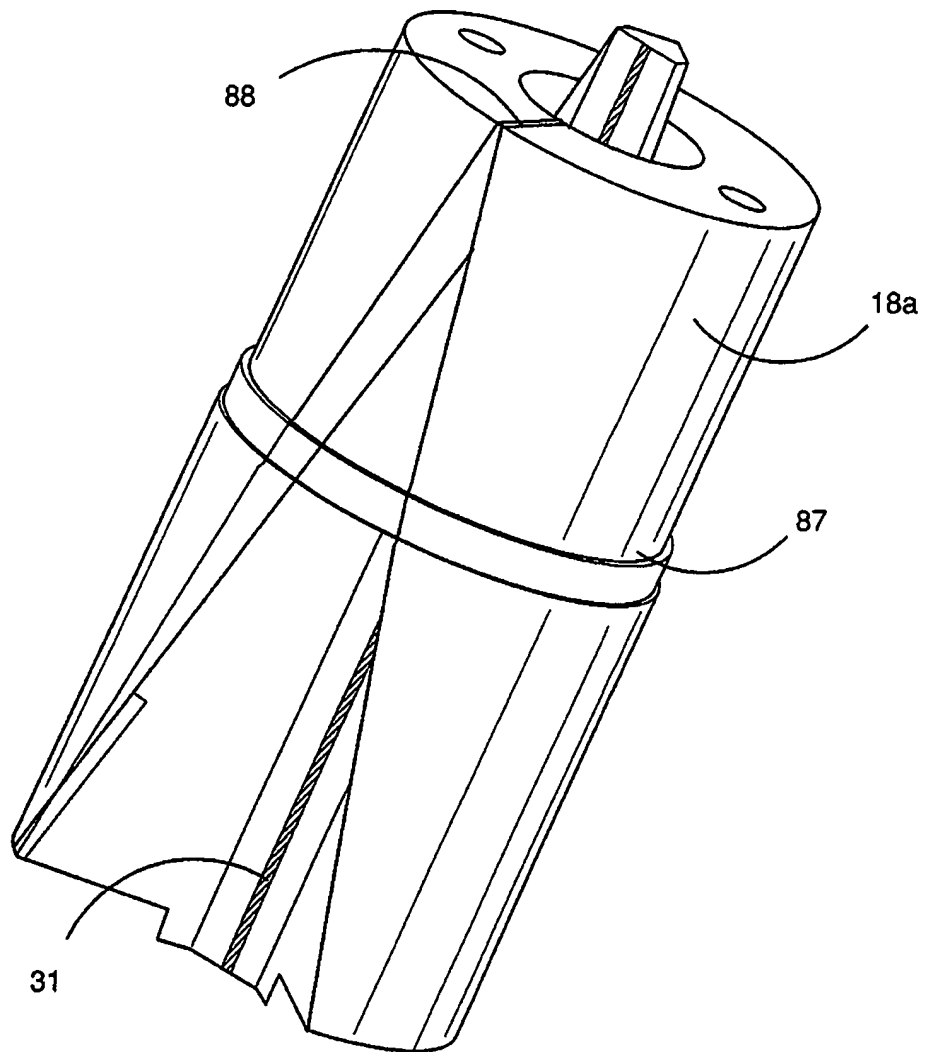


FIGURA 14

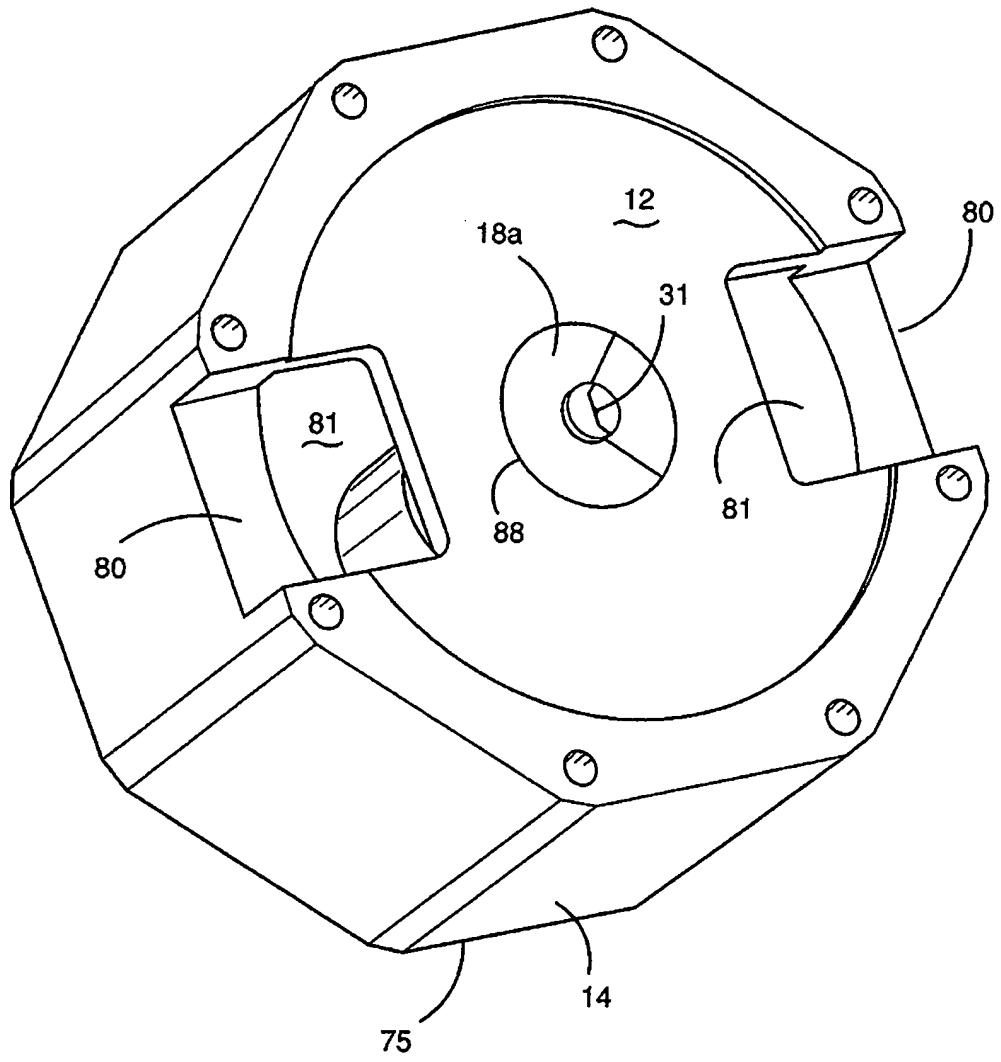


FIGURE 15

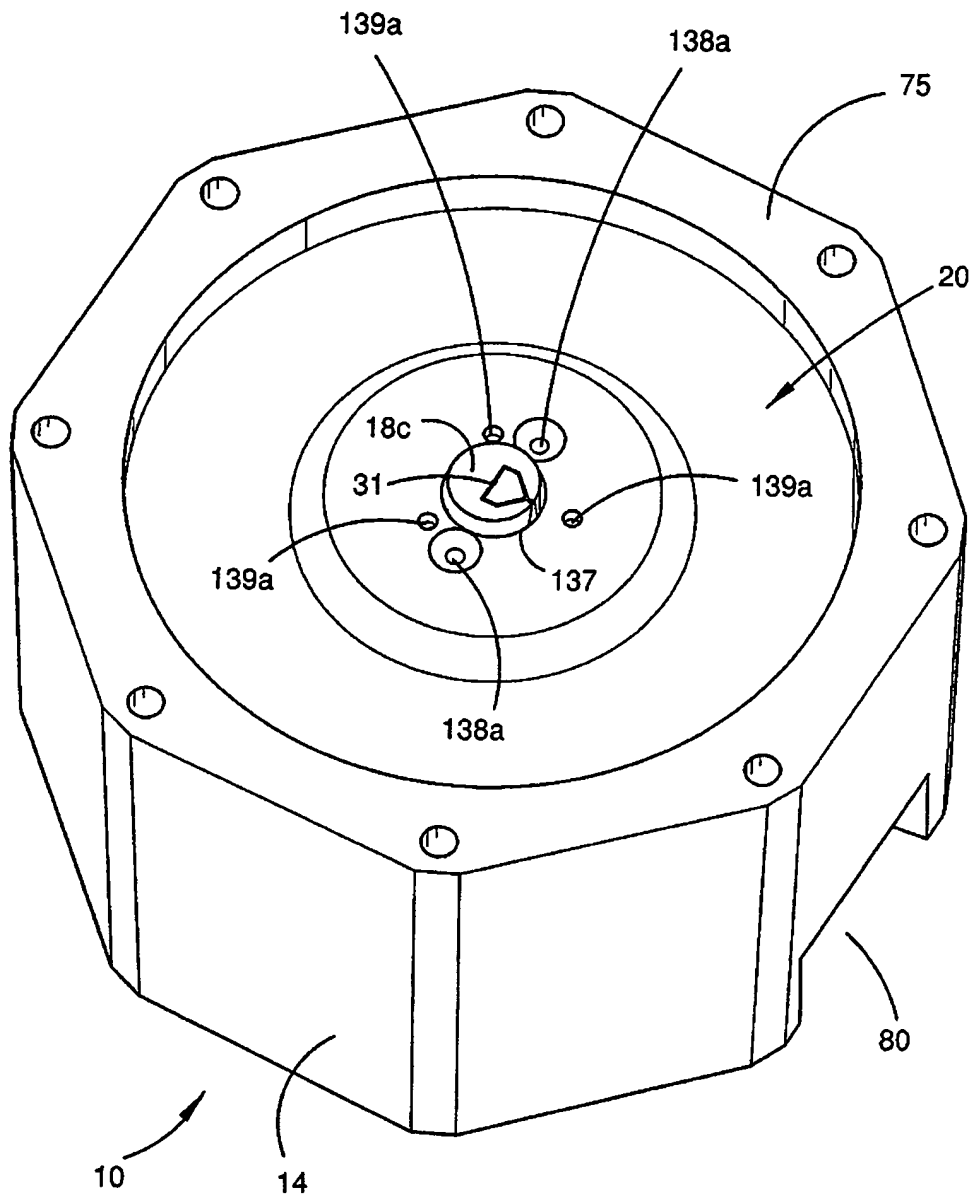


FIGURE 16

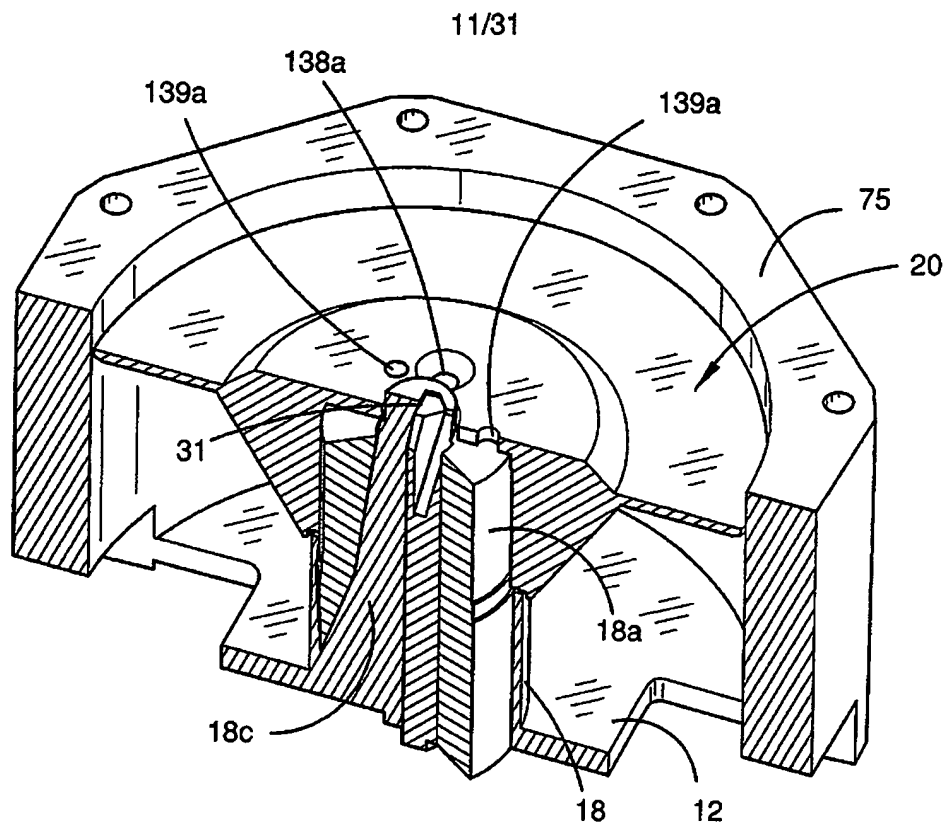


FIGURA 17

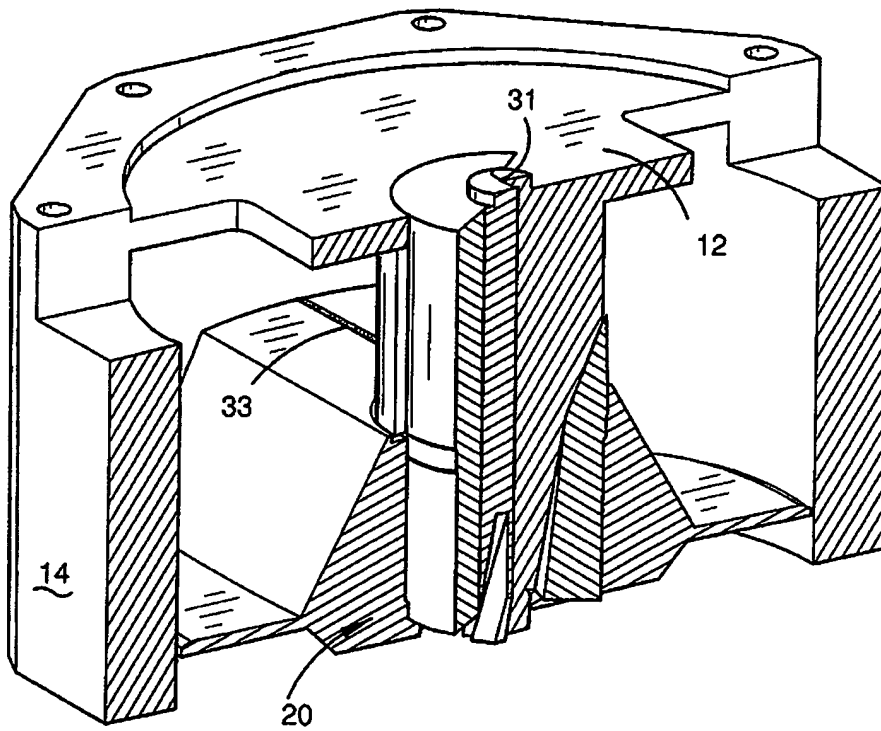


FIGURA 18

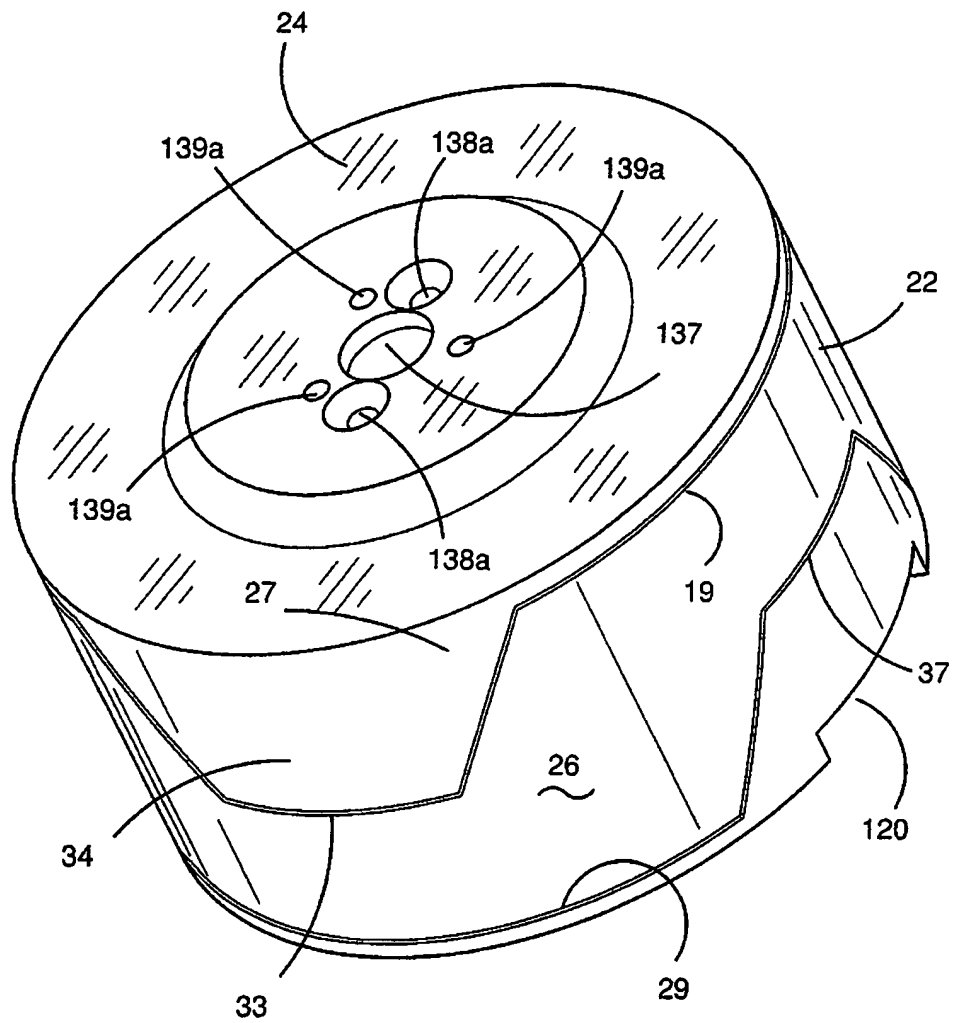


FIGURE 20

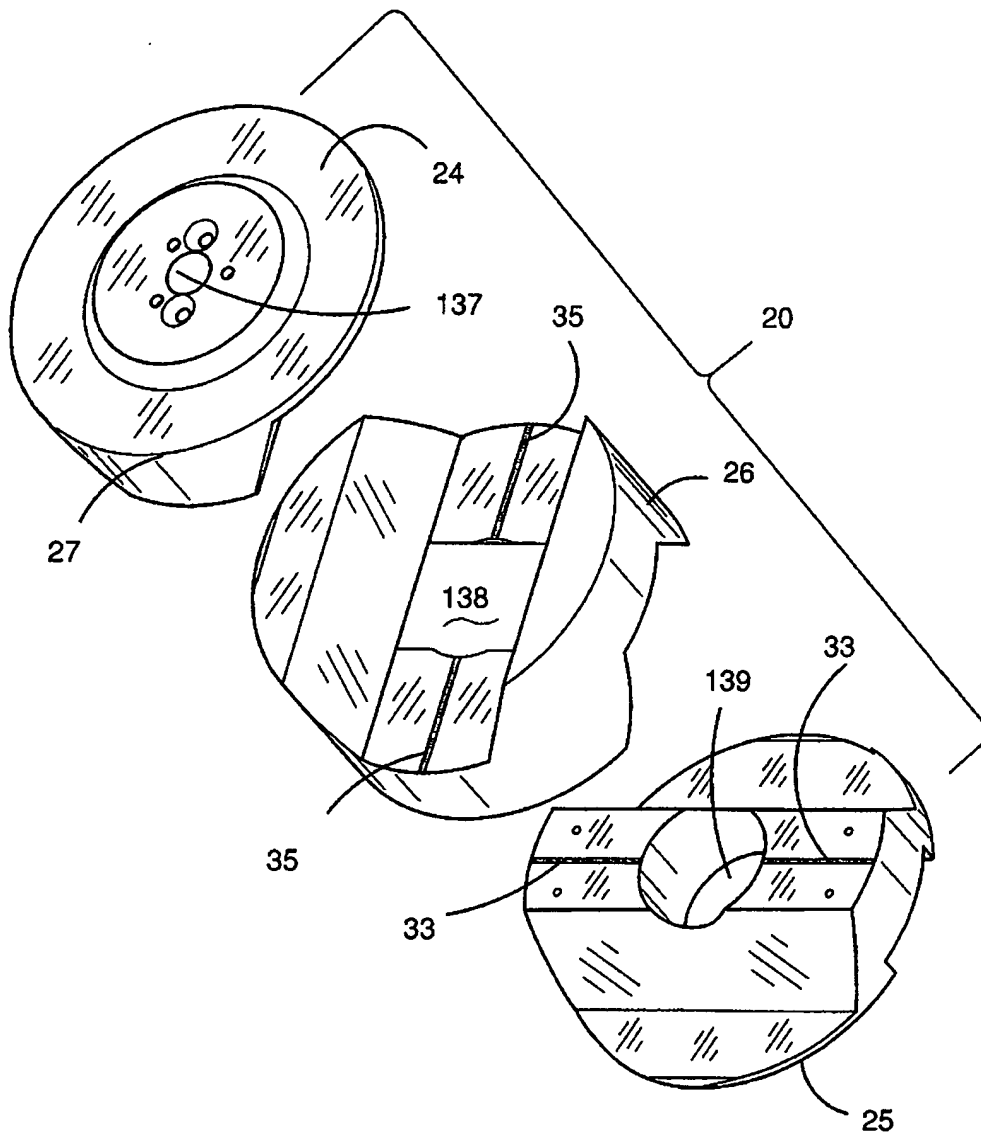


FIGURA 21

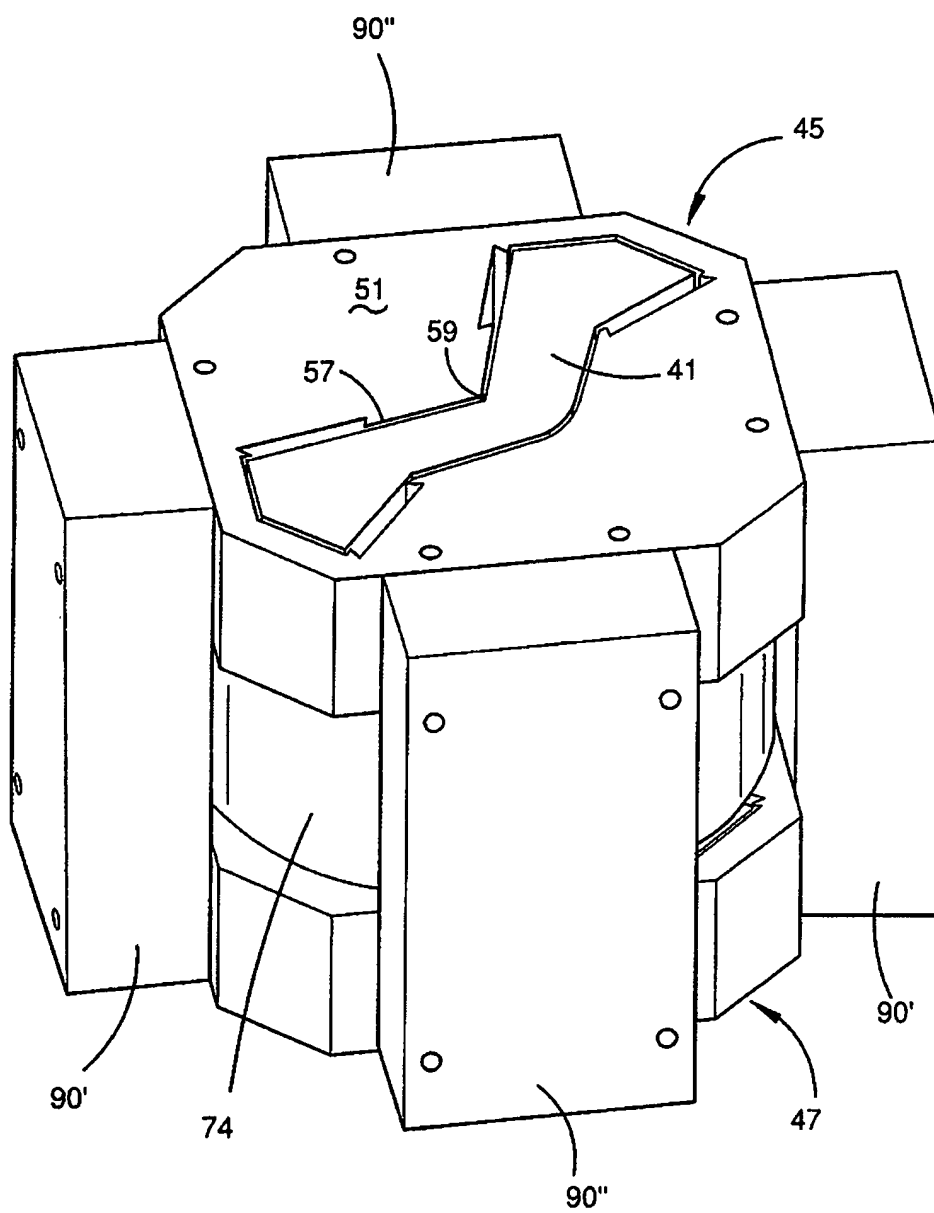


FIGURA 22

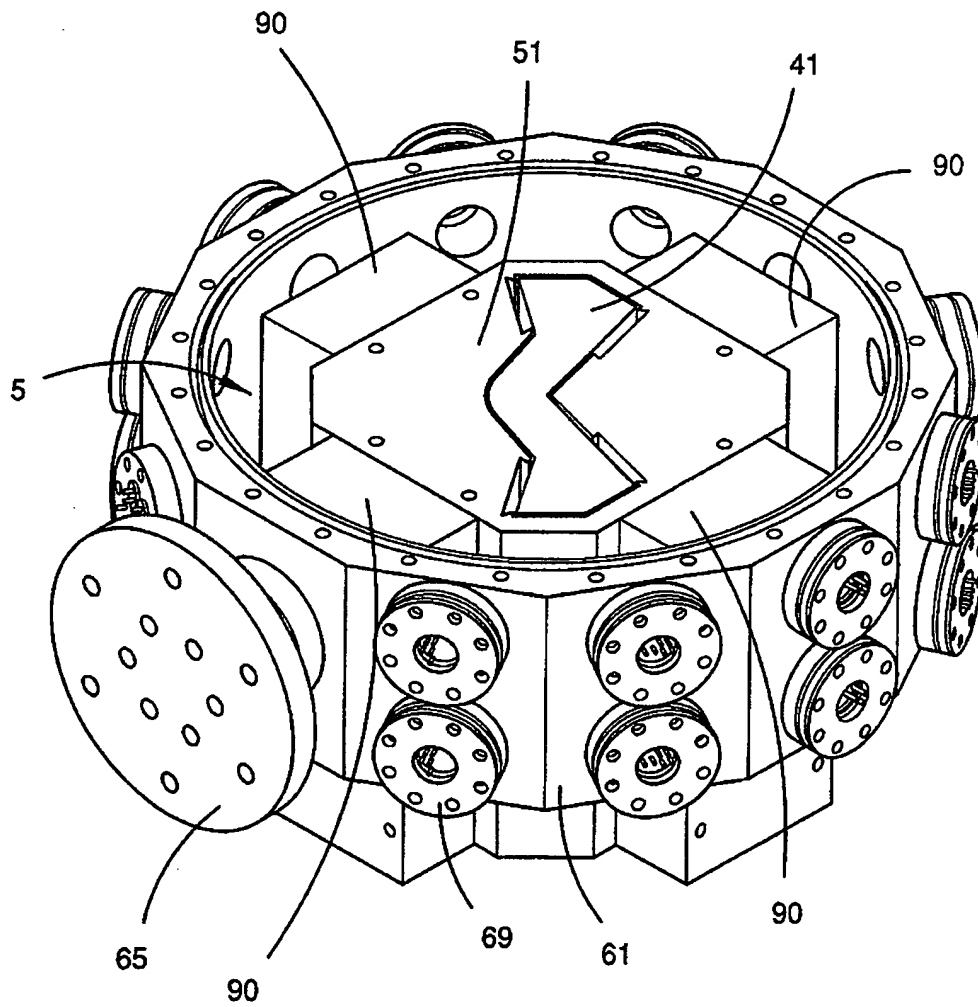


FIGURA 23

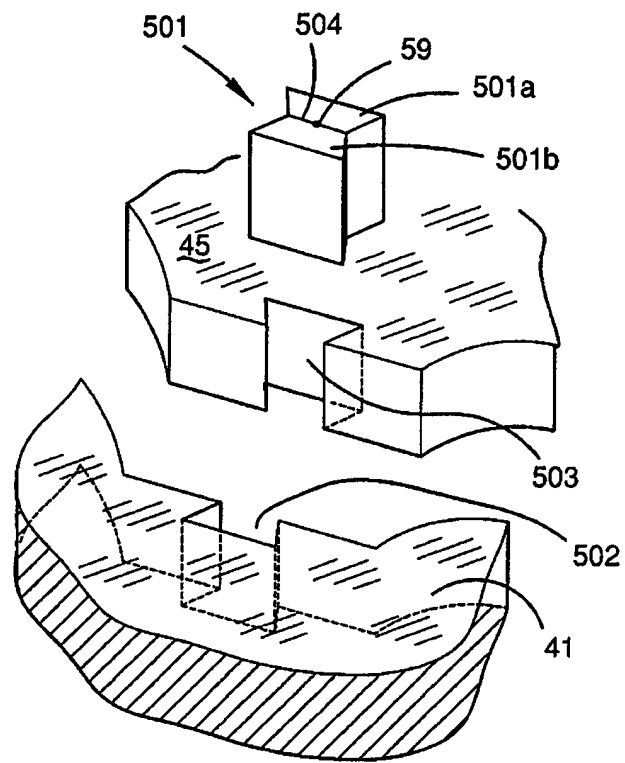


FIGURE 25

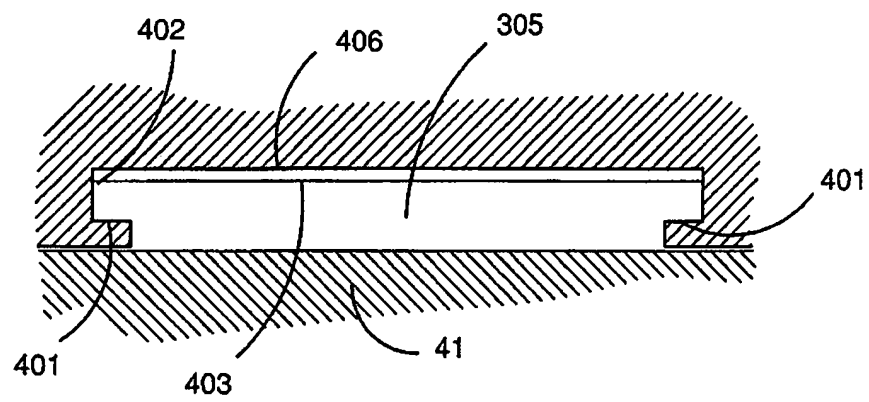


FIGURE 26

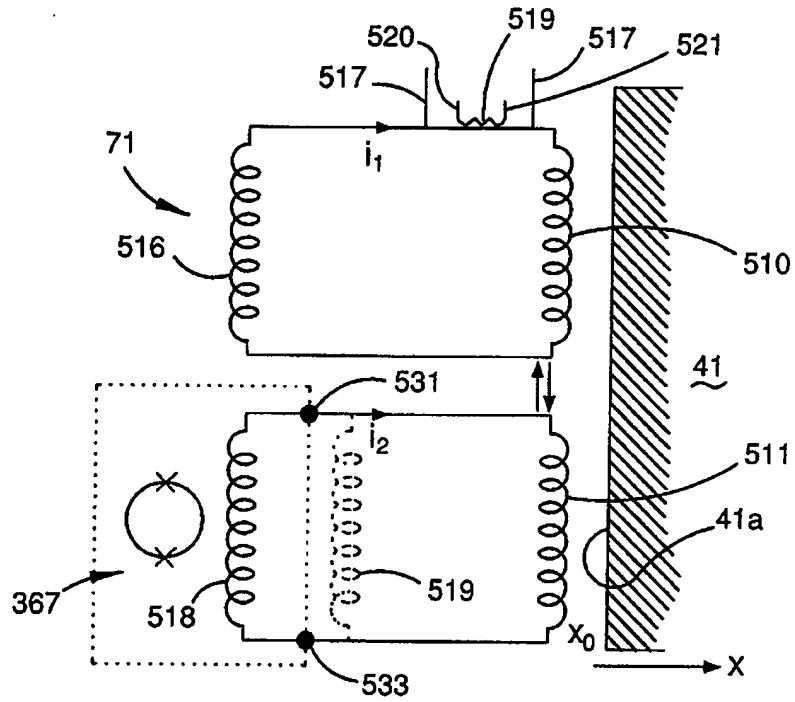


FIGURE 27

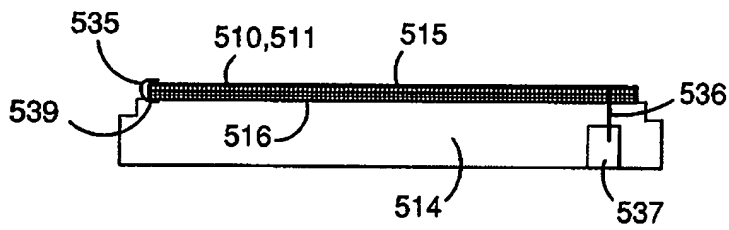


FIGURE 28

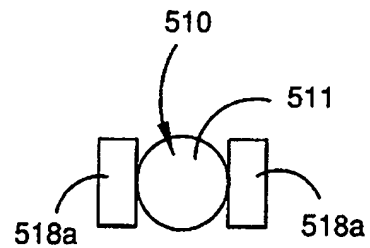


FIGURE 30A

20/31

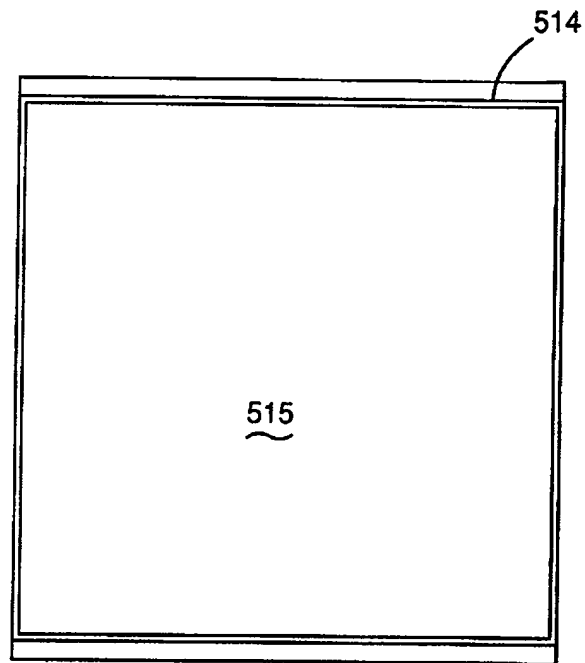


FIGURE 29

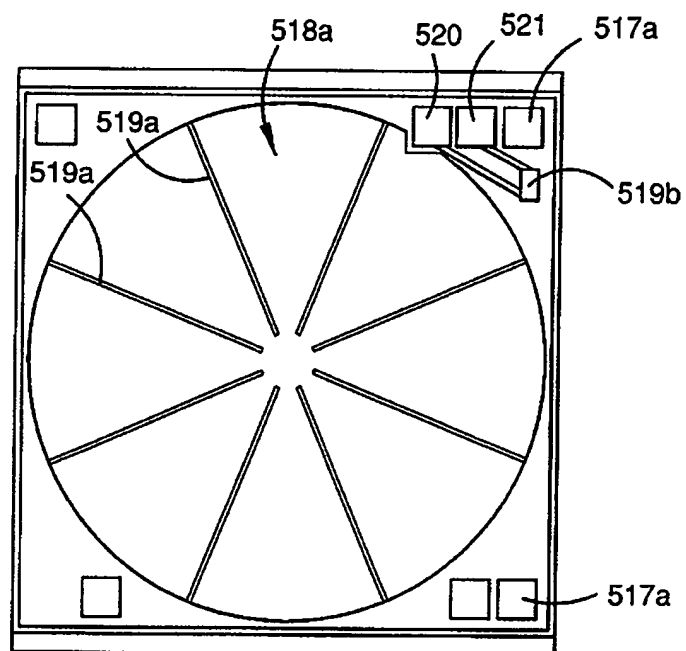


FIGURE 30

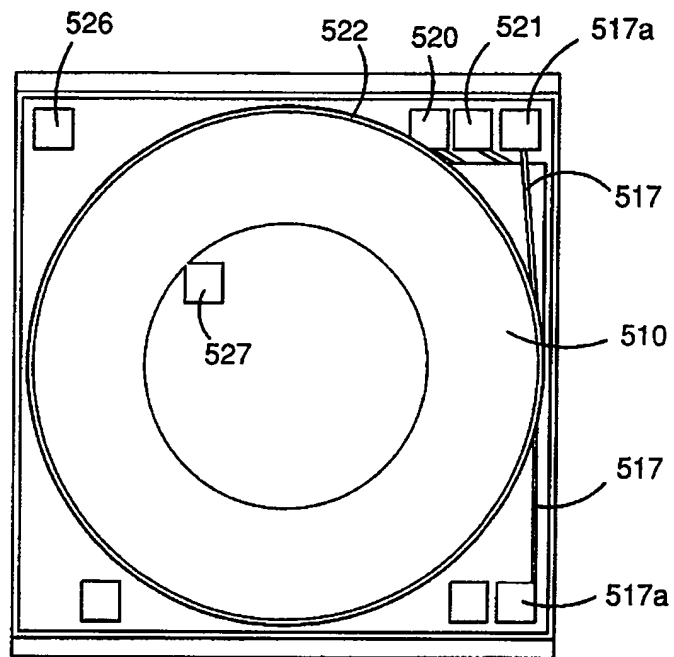


FIGURE 31

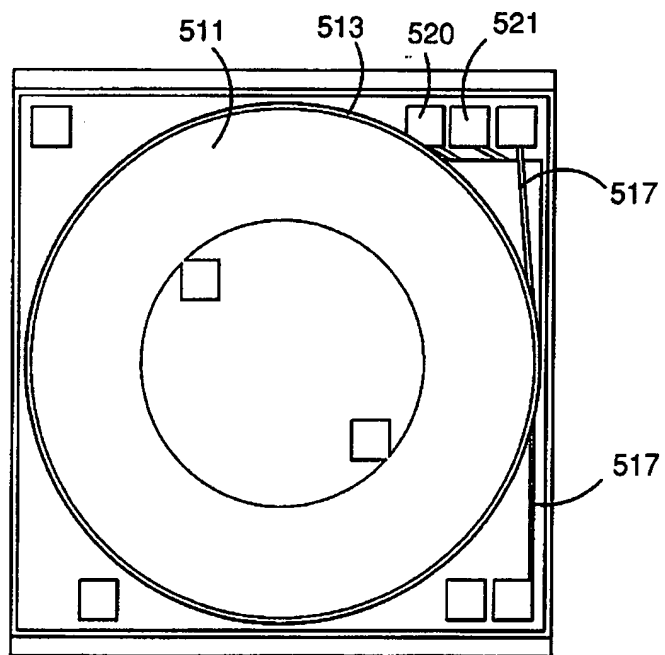


FIGURE 32

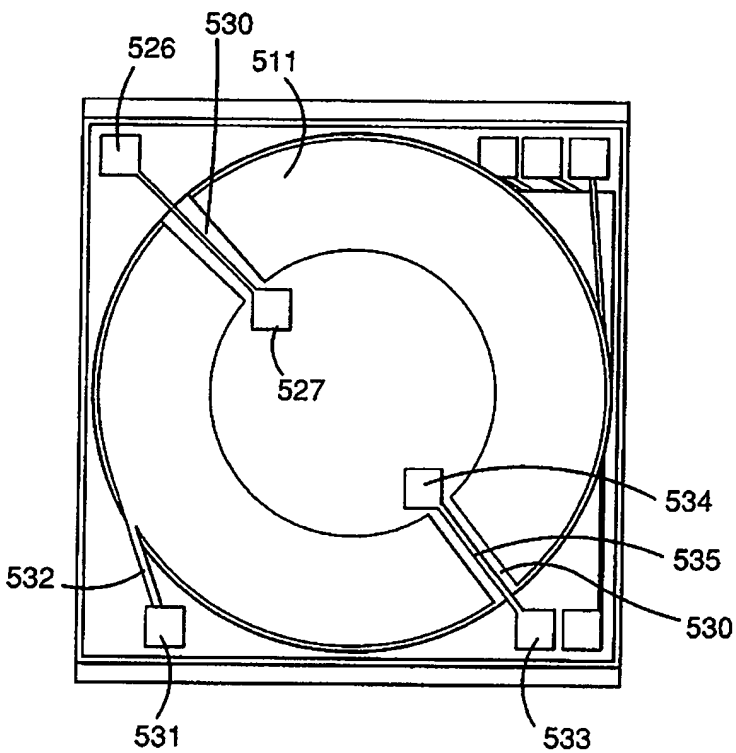


FIGURA 33

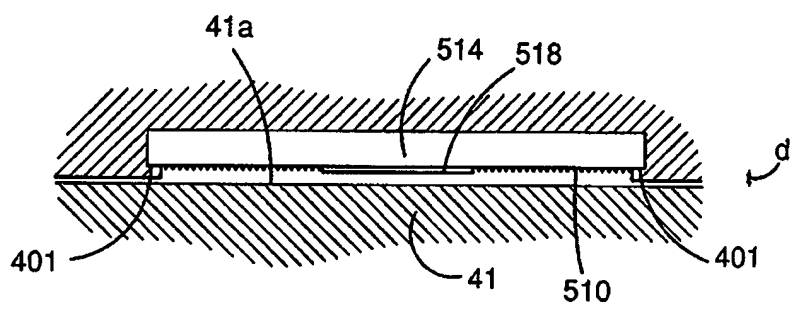


FIGURA 34

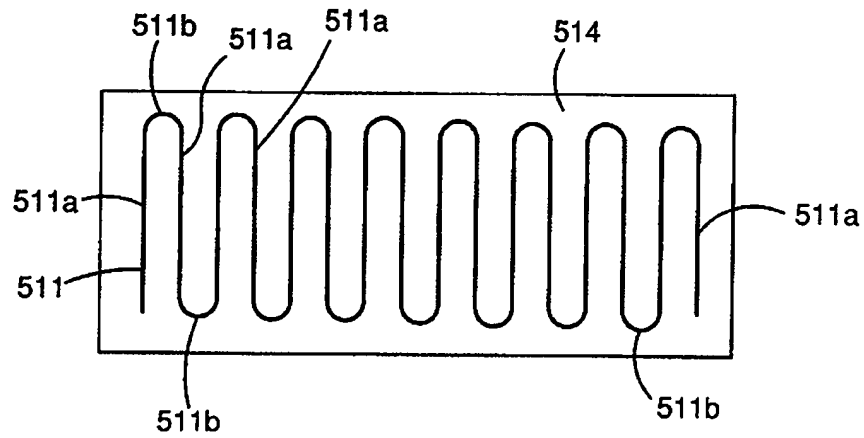


FIGURA 34A

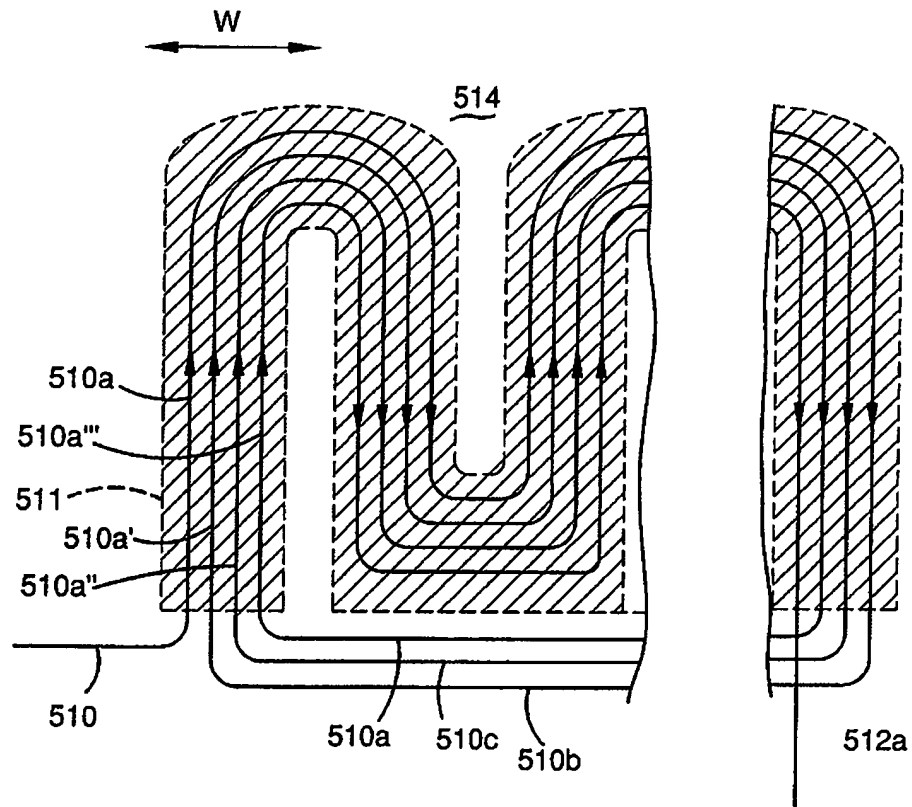


FIGURA 34B

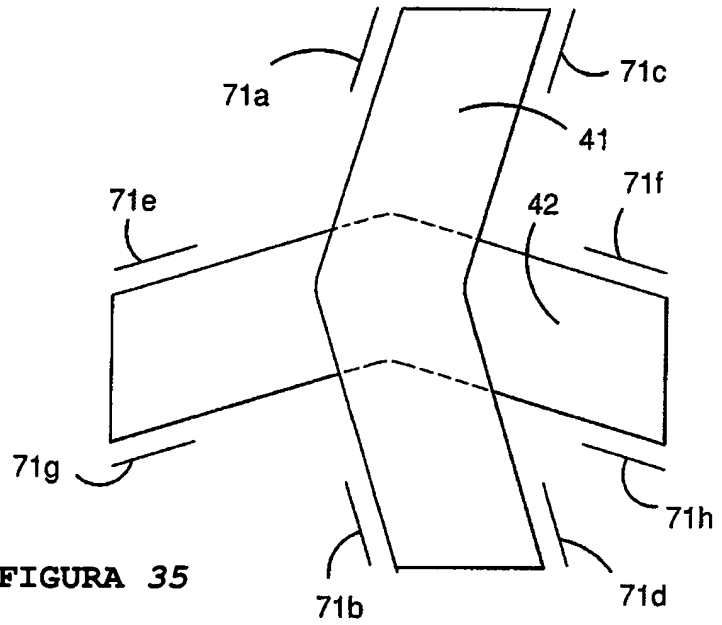


FIGURA 35

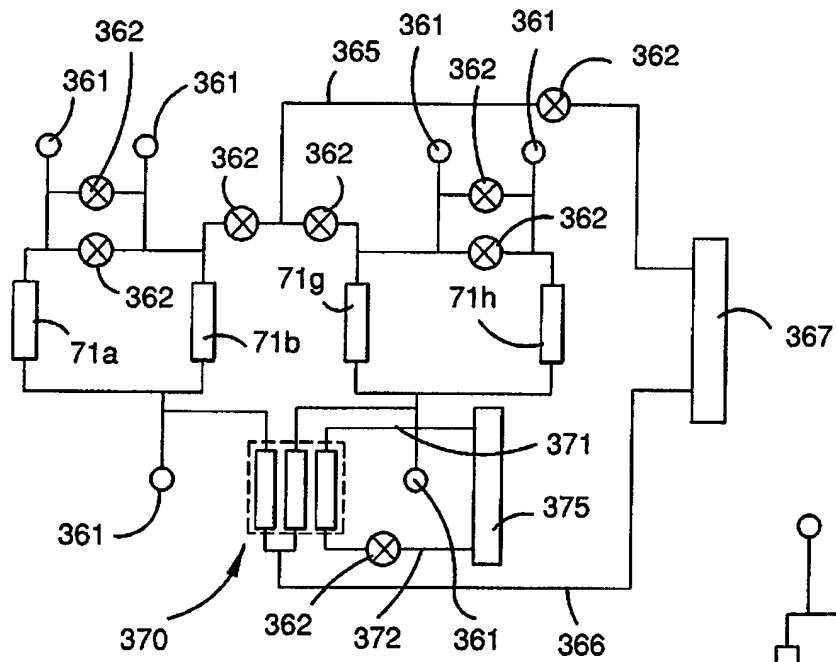


FIGURA 36

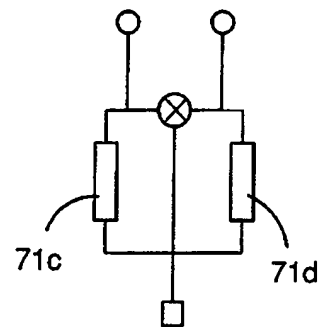


FIGURA 37

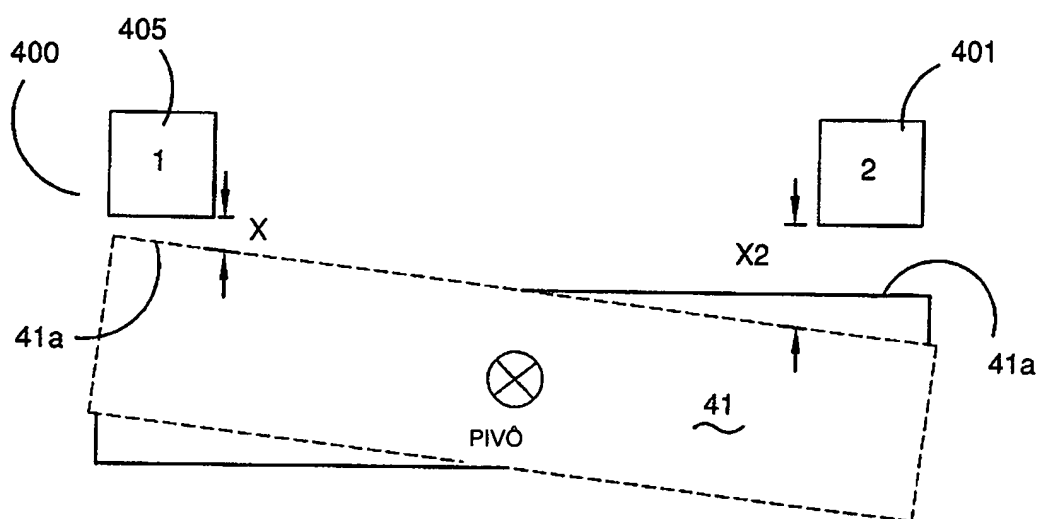


FIGURA 38

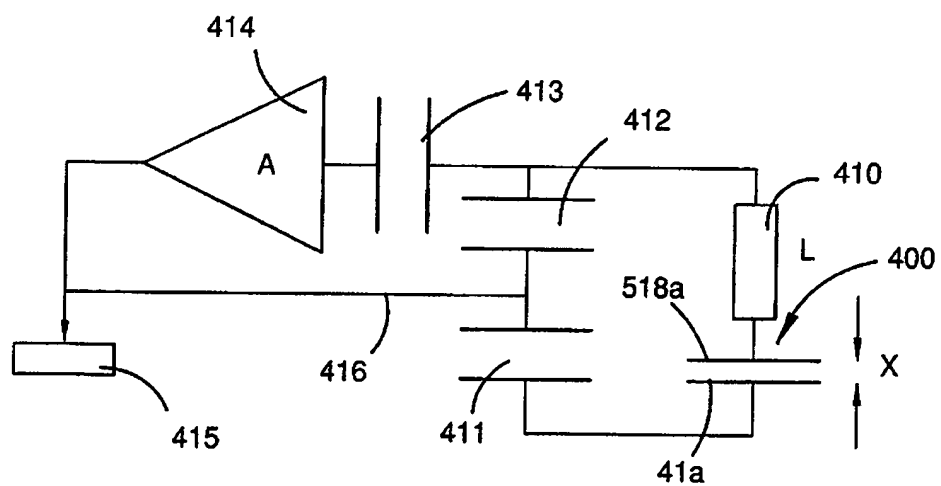


FIGURA 39

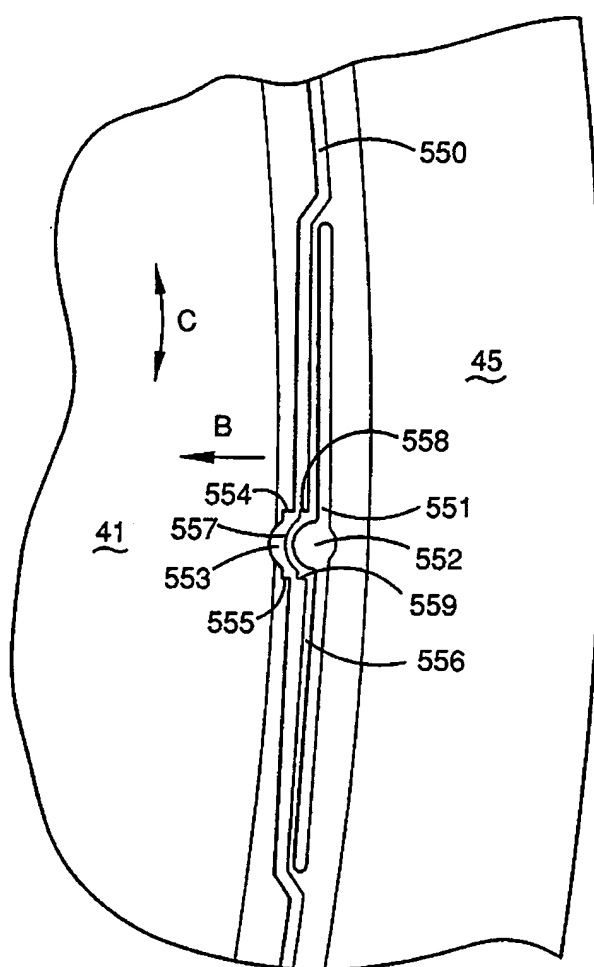


FIGURA 40

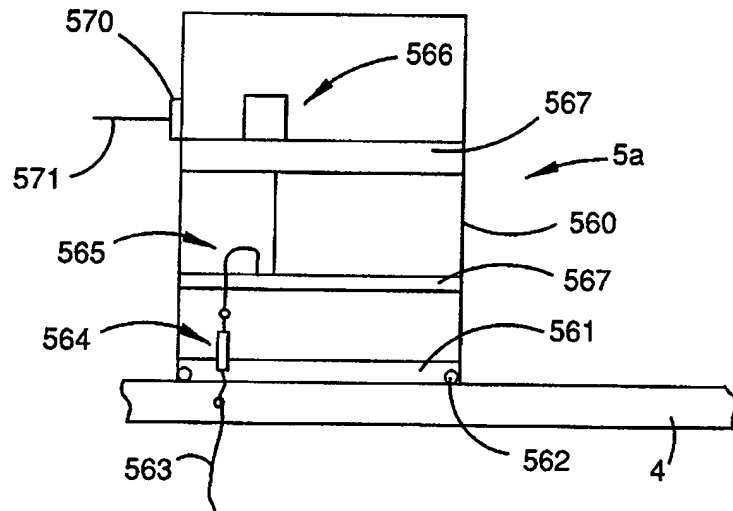


FIGURE 41

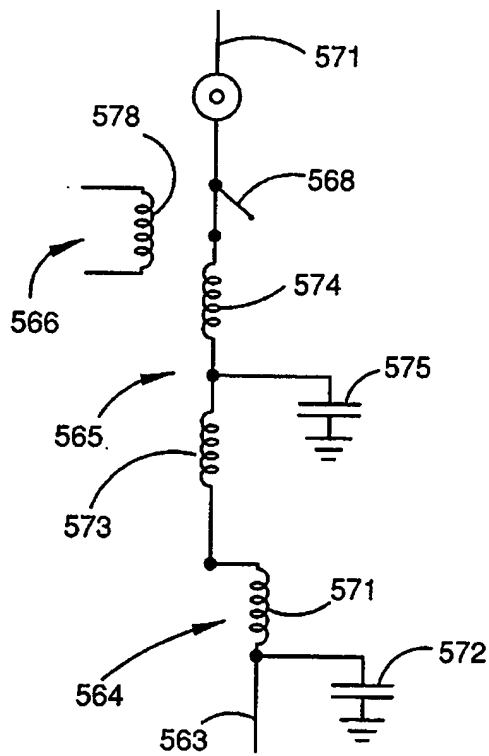


FIGURE 42

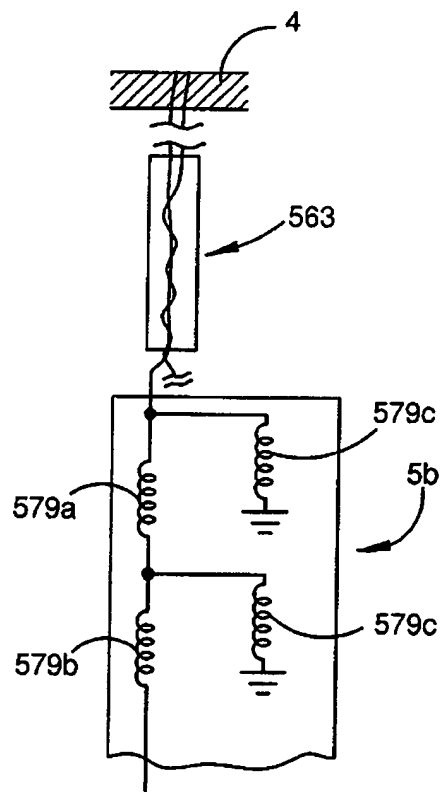
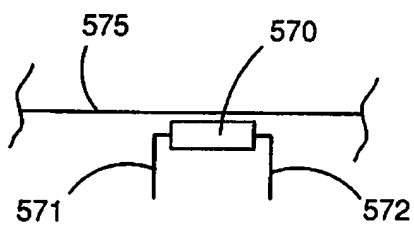
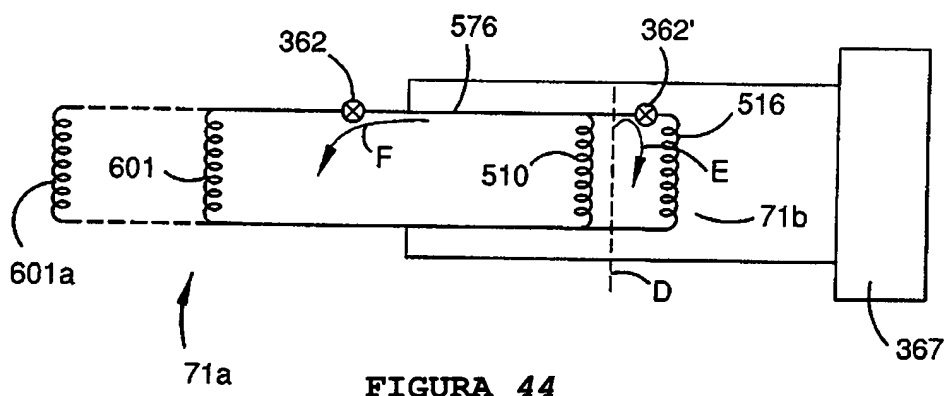
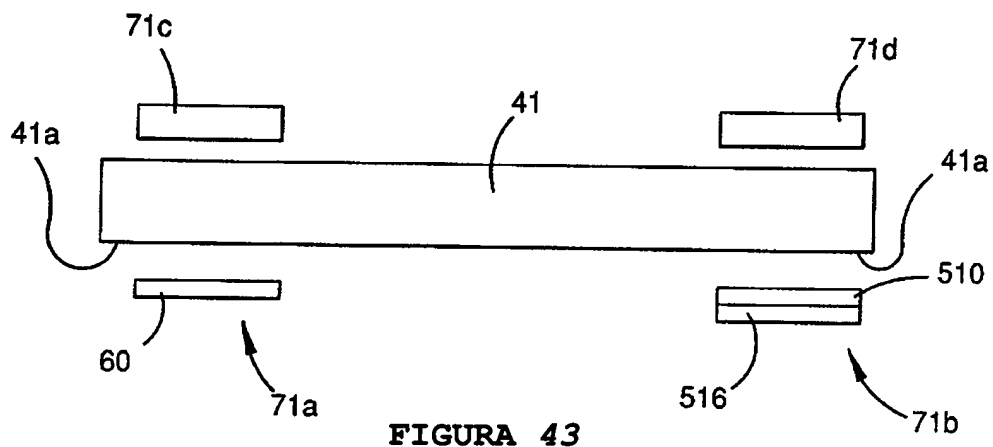


FIGURE 42A



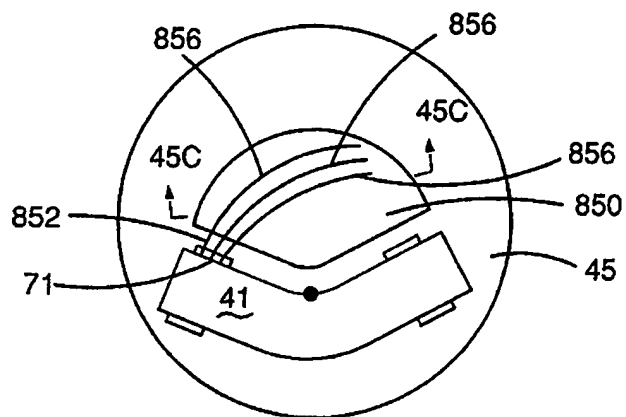


FIGURA 45A

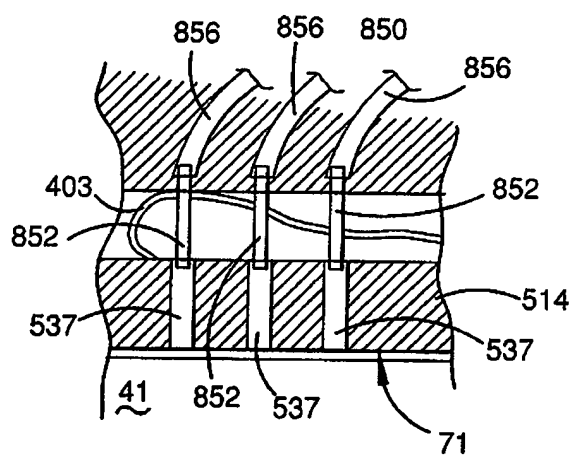


FIGURA 45B

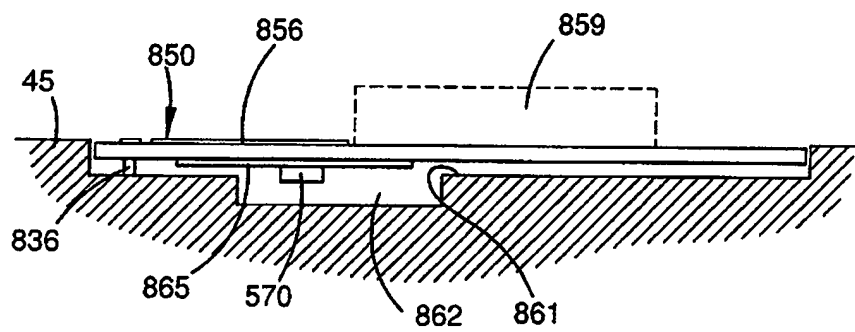


FIGURA 45C

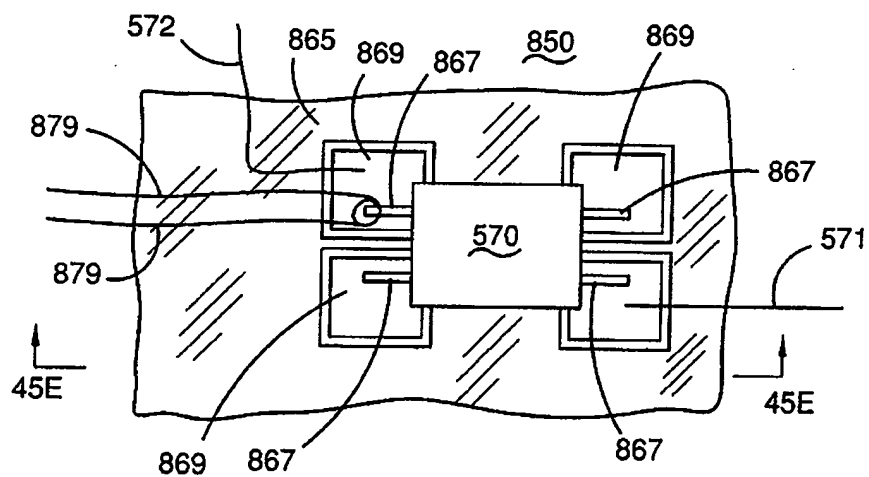


FIGURA 45D

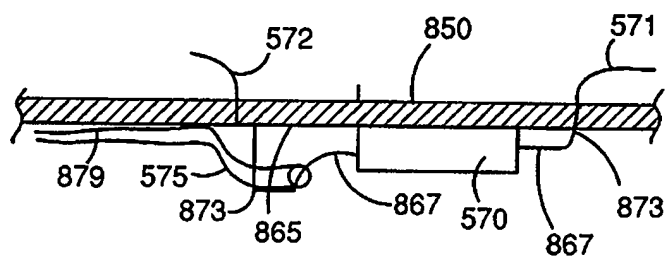


FIGURA 45E

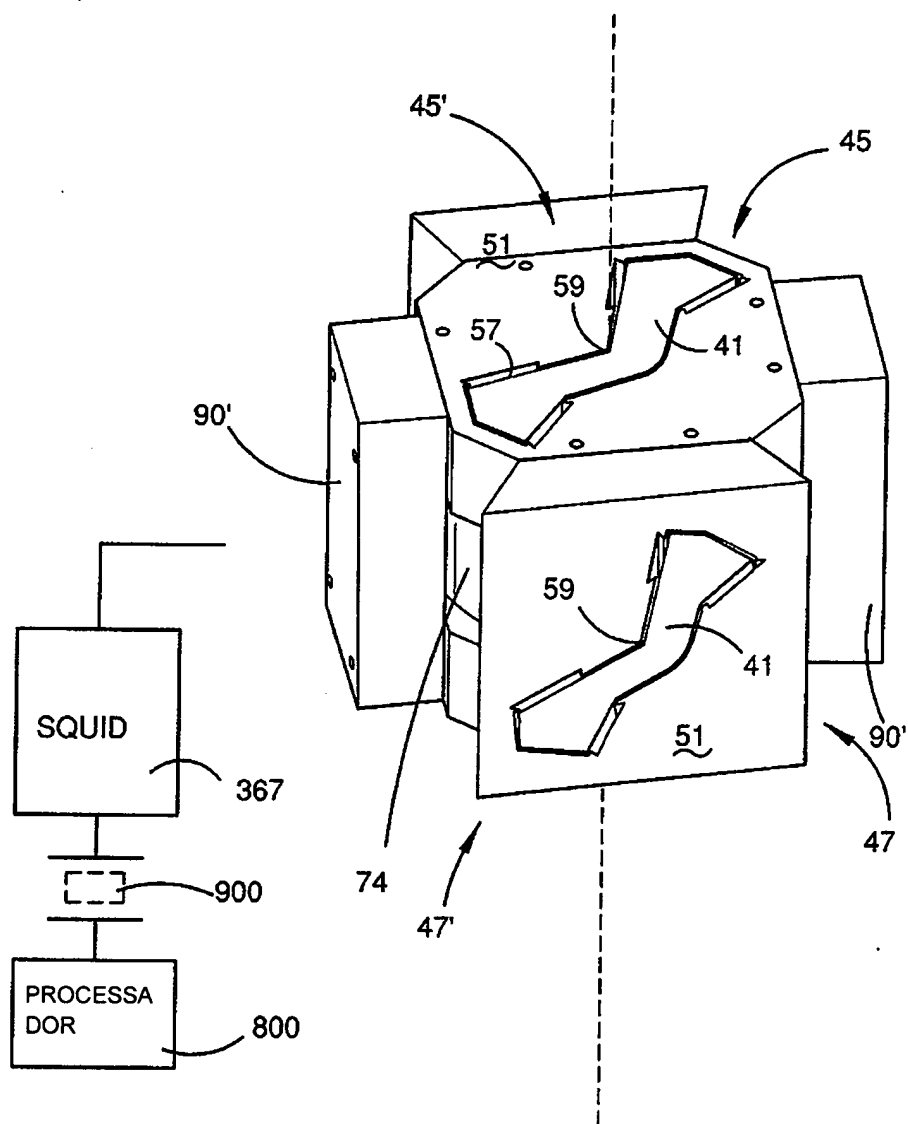


FIGURA 46

RESUMOGRADIÔMETRO DE GRAVIDADE E MÉTODO PARA FORMAR UMA
NERVURA DE FLEXÃO NO MESMO

Expõem-se um gradiômetro de gravidade e
5 método para formar uma nervura de flexão de pivô para
um gradiômetro. O gradiômetro é dotado de barras de
medição (41, 43) suportadas em alojamentos (45 e 47) e
transdutores (71) para medição de movimento das barras
para proporcionarem uma indicação do tensor de gradien-
10 te de gravidade. As barras (41, 43) são montadas em
nervuras de flexão. As nervuras são formadas em ele-
mentos separados dos alojamento e das barras.