



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

(11) PI 0818919-6 B1



(22) Data do Depósito: 31/10/2008

(45) Data de Concessão: 09/07/2019

(54) Título: APARELHO E MÉTODO PARA AVALIAR UM TUBULAR

(51) Int.Cl.: B06B 1/08; H01L 41/12; B06B 1/04; G01V 11/00; G01N 29/24.

(30) Prioridade Unionista: 01/11/2007 US 11/933,970.

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

(72) Inventor(es): ARCADY REIDERMAN.

(86) Pedido PCT: PCT US2008082067 de 31/10/2008

(87) Publicação PCT: WO 2009/059190 de 07/05/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 03/05/2010

(57) Resumo: APARELHO E MÉTODO PARA AVALIAR UM TUBULAR A presente invenção refere-se a um transdutor acústico eletromagnético combinado (EMAT) é descrito que utiliza blindagem 5 magnética para aumentar a eficácia (definido como o sinal recebido por unidade de corrente de excitação). Além disso, a blindagem eletromagnética pode também ser utilizada para reduzir o acoplamento direto entre as bobinas de transmissão e recepção. É enfatizado que este resumo seja fornecido para cumprir com as regras que exigem um resumo que irá permitir que um pesquisador ou outro leitor verifique rapidamente o assunto de matéria da descrição técnica.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**APARELHO E MÉTODO PARA AVALIAR UM TUBULAR**".

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

1. Campo de Invenção

5 A presente invenção refere-se, geralmente, ao campo avaliando a integridade das ligações que aderem a carcaça do furo de poço a um furo de poço. Mais especificamente, a presente invenção refere-se a um método e um aparelho para produzir e detectar forças acústicas dentro de uma carcaça do furo de poço para avaliar a integridade da carcaça.

10 2. Descrição da Técnica Relacionada

Como ilustrado na Figura 1 furos de poço tipicamente compreendem carcaça 8 ajustadas dentro do furo de poço 5, onde a carcaça 8 é ligada ao furo de poço adicionando cimento 9 dentro do anel formado entre o diâmetro externo da carcaça 8 e o diâmetro interno do furo de poço 5. A ligação de cimento, não apenas adere à carcaça 8 dentro do furo de poço 5, mas também serve para isolar as zonas adjacentes (por exemplo, Z₁ e Z₂) dentro de uma formação de terra 18. Isolar zonas adjacentes pode ser importante quando uma das zonas contém óleo ou gás, e a outra zona inclui um fluido de não-hidrocarboneto tal como a água. Se o cimento 9 em torno da carcaça 8 estiver com defeito e falhar para prover o isolamento das zonas adjacentes, água ou outros fluidos indesejáveis podem migrar para a zona de produção de hidrocarbonetos, dessa forma diluindo ou contaminando os hidrocarbonetos na zona de produção, e aumentando os custos de produção, atrasando a produção ou inibindo a recuperação de recursos.

Para detectar as possíveis ligações de cimento defeituosas, ferramentas de fundo do poço 14 foram desenvolvidas para analisar a integridade do cimento 9 ligando a carcaça 8 ao furo de poço 5. Estas ferramentas de fundo do poço 14 são abaixadas para dentro do furo de poço 5 através de um fio 10 em combinação a uma roldana 12 e tipicamente incluem transdutores 16 dispostos em sua superfície externa formada para ser acusticamente acoplada ao fluido no furo de sondagem. Estes transdutores 16 são geral-

mente capazes de emitir ondas acústicas para a carcaça 8 e registrar a amplitude das ondas acústicas enquanto viajam ou se propagam, através da carcaça 8. As características da ligação de cimento, tal como sua eficácia, integridade e aderência à carcaça, podem ser determinadas pela análise das características da onda acústica, tal como a atenuação. Tipicamente os transdutores 16 são dispositivos piezelétricos possuindo um cristal piezelétrico que converte energia elétrica em vibrações mecânicas ou oscilações de ondas acústicas de transmissão para a carcaça 8. Os dispositivos piezelétricos tipicamente se acoplam a uma carcaça 8 através de um meio de acoplamento encontrado no poço. Os meios de acoplamento incluem os líquidos que são tipicamente encontrados em poços. Quando os meios de acoplamento estão presentes entre o dispositivo piezelétrico e a carcaça 8, os mesmos podem comunicar as vibrações mecânicas do dispositivo piezelétrico para a carcaça 8. No entanto, os fluidos de baixa densidade, tais como gás ou ar e fluidos de alta viscosidade, tal como alguma lama de perfuração pode não proporcionar o acoplamento adequado entre um dispositivo piezelétrico e a carcaça 8. Além disso, a presença de lodo, calamina, ou outra matéria similar sobre a circunferência interna da carcaça 8 pode afetar negativamente a eficácia de um registro de ligação adquirido com um dispositivo piezelétrico. Assim, para os dispositivos piezelétricos fornecerem resultados significativos de registro de ligações, devem contatar de forma limpa a superfície interna da carcaça 8 ou ser empregados em furo de poço, ou zonas do furo de poço, possuindo líquido dentro da carcaça 8. Outra desvantagem enfrentada quando do emprego de dispositivos piezelétricos para uso em operações de registro de ligação envolve a limitação das formas de ondas variantes produzidas por esses dispositivos. Os fluidos necessários para acoplar a onda do transdutor à carcaça apenas conduzem ondas de compressão, o que limita os tipos de onda que podem ser induzidos ou recebidos a partir da carcaça. A grande quantidade de informações é derivável de formas de ondas acústicas variantes que podem ser utilizadas na avaliação da carcaça, das ligações de carcaça, e possivelmente até mesmo das condições na formação 18. Portanto, existe uma necessidade de realizar opera-

ções de registro de ligação sem a presença de um acoplador particular. Existe uma necessidade de um dispositivo de registro de ligação capaz de emitir e propagar para dentro da carcaça do furo de poço vários tipos de ondas, e gravação das formas de ondas.

5 Os transdutores acústicos eletromagnéticos (EMATs) foram utilizados em ensaios não-destrutivos. Um EMAT atua através dos seguintes princípios físicos. Quando um fio é colocado próximo à superfície de um objeto eletricamente condutor e é impulsionado por uma corrente na frequência de ultrassom desejada, correntes parasitas são induzidas em uma região da
10 superfície próxima do objeto. Se um campo magnético estático também estiver presente, estas correntes de parasitas experimentam as forças de Lorentz. Estas forças causam uma excitação acústica no objeto. Em uma utilização recíproca, um sinal elétrico será gerado no fio, como um resultado da excitação acústica em um metal colocado próximo a um ímã permanente. A
15 atenuação e/ou reflexão das ondas acústicas suportam informações sobre os defeitos e os arredores do objeto. Um EMAT é tipicamente produzido para produzir uma forma de onda única, tal como ondas de cisalhamento horizontal (SH) ou ondas de Lamb.

As configurações de projeto de EMAT foram propostas. A Patente
20 U.S. 4.296.486 para *Vasile* descreve um EMAT incluindo uma fonte de fluxo magnético para estabelecer um campo magnético estático, um condutor elétrico para conduzir uma corrente alternada em campos magnéticos estáticos, e uma blindagem não-magnética eletricamente condutora disposta entre a fonte de fluxo magnético e o condutor. A Patente U.S. 7.024.935 para
25 *Paige et al.* descreve um EMAT incluindo uma unidade magnética disposta para ser movido em relação ao material em ensaio para magnetizar uma camada de superfície do material, e um enrolamento elétrico fornecido por uma fonte de corrente alternada, a unidade magnética e o enrolamento elétrico, em uso, sendo aplicado na sequência para o material em ensaio pelo
30 qual o enrolamento elétrico é posicionado adjacente ao material subsequente à magnetização do mesmo pela unidade magnética, o fluxo magnético alternado criado pelo enrolamento interagindo com a magnetização rema-

nescente do material para criar vibração ultrassônica do material.

Como para todas as aplicações no fundo do poço, seria desejável aumentar a eficiência do transdutor. Além disso, como na maioria dos sensores utilizando antenas EM, seria desejável reduzir os efeitos do acoplamento transmissor-receptor e os efeitos do objeto a ser examinado na impedância da antena. A presente invenção atende a essa necessidade.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Uma modalidade da invenção é um aparelho para avaliar um tubular. O aparelho inclui um dispositivo de acoplamento eletromagnético com uma bobina, um ímã e uma blindagem magnética configurados para serem transportados para a energia acústica tubular e de acoplamento dentro do tubular. O dispositivo de acoplamento pode ser configurado adicionalmente para propagar uma onda acústica no tubular. O dispositivo de acoplamento pode ser adicionalmente configurado para gravar uma onda acústica que se propaga no tubular. A blindagem magnética pode incluir um material magnético leve não-condutor possuindo uma densidade de fluxo de alta saturação e perdas de baixa frequência de rádio. O aparelho pode ainda incluir uma blindagem eletromagnética. O dispositivo de acoplamento eletromagnético pode ser configurado adicionalmente para formar uma onda dentro do tubular, a onda possuindo uma polarização que é aquela de uma onda compressiva, uma onda de cisalhamento, uma onda de cisalhamento polarizada transversalmente, uma onda de Lamb e/ou uma onda de Rayleigh. O tubular pode ser uma carcaça em um furo de poço e o aparelho pode incluir uma ferramenta de registro, incluindo o dispositivo de acoplamento eletromagnético. O aparelho pode incluir uma pluralidade dos dispositivos de acoplamento eletromagnético sobre a ferramenta de registro. A pluralidade de dispositivos de acoplamento eletromagnético pode ser axialmente e/ou circunferencialmente espaçado. O aparelho pode ainda incluir um processador configurado para determinar uma velocidade de propagação de uma onda acústica no tubular utilizando um sinal gerado por um de uma pluralidade de dispositivos de acoplamento eletromagnético e recebido por outro de uma pluralidade de dispositivos de acoplamento eletromagnético.

Outra modalidade é um método de avaliação de um tubular. O método inclui conduzir um dispositivo de acoplamento eletromagnético possuindo uma bobina, um ímã e uma blindagem magnética dentro do tubular, transportando uma corrente elétrica para a bobina, e a energia acústica de acoplamento para o tubular. Acoplar a energia acústica pode ainda incluir propagar uma onda acústica no tubular, ou gravar uma propagação de onda acústica no tubular. Este método pode ainda incluir utilizando, como a blindagem magnética, um material magnético leve com uma alta densidade de fluxo de saturação e baixas perdas de RF. O método pode ainda incluir o uso de uma blindagem eletromagnética. O método pode adicionalmente incluir a utilização do dispositivo de acoplamento eletromagnético para formar uma onda dentro do tubular, a onda possuindo uma polarização que é aquela de uma de uma onda compressiva, uma onda de cisalhamento, uma onda de cisalhamento polarizada transversalmente, uma onda de Lamb e/ou uma onda de Rayleigh. O tubular pode ser uma carcaça no poço e o método pode ainda incluir a eliminação do dispositivo de acoplamento eletromagnético em uma ferramenta de registro. O método pode ainda incluir o uso de uma pluralidade de dispositivos de acoplamento eletromagnético dispostos na ferramenta de registro. O método pode incluir ainda o posicionamento da pluralidade de dispositivos de acoplamento eletromagnético axialmente e/ou circunferencialmente espaçados. O método pode ainda incluir determinar uma velocidade de propagação de uma onda acústica no tubular utilizando um sinal gerado por um dos dispositivos de acoplamento eletromagnético e recebido por outro da pluralidade de dispositivos de acoplamento eletromagnético.

Outra modalidade é um meio legível por computador para uso com um aparelho para avaliar um tubular. O aparelho inclui um dispositivo de acoplamento eletromagnético compreendendo uma bobina, um ímã e uma blindagem magnética configurada para ser transportada para o tubular e a energia acústica de acoplamento dentro do tubular, e uma fonte de corrente elétrica configurada para transmitir corrente para a bobina. O meio inclui instruções que permitem pelo menos um processador utilizar o dispositi-

vo de acoplamento eletromagnético para produzir uma onda no tubular possuindo uma polarização que é aquela de uma onda compressiva, uma onda de cisalhamento, uma onda de cisalhamento polarizada transversalmente, uma onda de Lamb e/ou uma onda de Rayleigh. O meio pode incluir uma ROM, uma EPROM, uma EEPROM, uma memória flash, e/ou disco óptico.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A presente invenção e suas vantagens serão mais bem compreendidas por referência à seguinte descrição detalhada e aos desenhos em anexo nos quais:

10 A Figura 1 descreve uma seção transversal parcial da ferramenta de registro da ligação de cimento do fundo de poço da técnica anterior dentro de um furo de poço;

A Figura 2 mostra a configuração do campo de um EMAT;

15 As Figuras 3(a) - (b) (técnica anterior) mostram um layout de um transdutor da técnica anterior para a geração de ondas de cisalhamento;

As Figuras 4(a), 4(b) e 4(c) mostram os resultados da simulação 2-D do transdutor da Figura 3 mostrando as isolinhas do campo magnético estático, o campo magnético de RF, e o campo magnético de RF com a suposição de um ímã não-condutor;

20 A Figura 5 mostra o layout de um transdutor modificado;

As Figuras 6(a) e 6(b) mostram os resultados da simulação 2-D do transdutor da Figura 5 mostrando as isolinhas do campo magnético estático e do campo magnético de RF,

25 A Figura 7 mostra o layout de outra modalidade de um transdutor de onda de cisalhamento;

As Figuras 8(a) e 8(b) mostram os resultados de simulação 2-D do transdutor da Figura 7 mostrando as isolinhas do campo magnético estático e do campo magnético de RF,

30 A Figura 9 (técnica anterior) mostra um layout de um transdutor da técnica anterior a geração de onda de Lamb;

As Figuras 10(a), 10(b) e 10(c) mostram os resultados de simulação 2-D do transdutor da Figura 9 mostrando as isolinhas do campo mag-

nético estático, o campo magnético de RF e o campo magnético de RF com a suposição de um ímã não-condutor;

A Figura 11 mostra o layout de um transdutor de onda de Lamb modificado;

5 As Figuras 12(a) e 12(b) mostram os resultados de simulação 2-D do transdutor da Figura 11 mostrando as isolinhas do campo magnético estático e do campo magnético de RF,

A Figura 13 mostra o layout de outra modalidade de um transdutor de onda de Lamb;

10 As Figuras 14(a) e 14(b) mostram os resultados de simulação 2-D do transdutor da Figura 12 mostrando as isolinhas do campo magnético estático e do campo magnético de RF, e

As Figuras 15(a), 15(b) e 15(c) mostram o efeito de um EM (blindagem condutora) no campo de RF isolado que pode resultar em diafonia entre os fios de transmissão / recepção: para sem blindagem, blindagem parcial e completa blindagem, respectivamente.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A Figura 2 mostra a geometria de base para a excitação da onda de cisalhamento baseada na força de Lorenz. Uma corrente $i_{exc}(x,z)e^{i\omega t}$ indicado por 203 flui em direção x próximo a um corpo de metal 201. Isto induz uma corrente $i_{exc}(x,z)e^{i\omega t}$ na direção y no metal que, em seguida, produz um deslocamento $u_{exc}(x,z)e^{i\omega t}$ no metal. As três equações abaixo representam, respectivamente, a amplitude acústica, o sinal do receptor e a eficácia do transdutor definido como o sinal de recepção por unidade de corrente no fio de transmissão:

$$u \propto \frac{B_0 \cdot B_{exc}}{d \cdot s}, \text{ for } \delta \ll \lambda_a, \quad (1)$$

$$S_r \propto u \cdot B_0 \cdot \frac{B_r}{I_r}, \quad (2)$$

$$\frac{S_r}{I_{RF}} \propto B_0^2 \cdot \left(\frac{B_r}{I_r} \right) \cdot \left(\frac{B_{exc}}{I_{exc}} \right) \quad (3)$$

Aqui, u é a amplitude acústica, B_0 é o campo magnético estático,

B_{exc} é a excitação do campo magnético gerando correntes parasitas no obje-

to, d é a densidade, s é o módulo de cisalhamento, $\frac{B_r}{I_r}$ é a função de sensibi-
 lidade do receptor (definidos com base em princípio da reciprocidade como o

campo magnético gerado campo magnético por unidade de corrente), $\frac{B_{exc}}{I_{exc}}$ é

5 o campo magnético por unidade de corrente para a bobina de excitação (se a mesma bobina for utilizada para os modos de transmissão e recepção do

transdutor, então $\frac{B_r}{I_r} = \frac{B_{exc}}{I_{exc}}$), é a profundidade da pele eletromagnética no

objeto para frequência de excitação, e λ é o comprimento de onda da excita-

ção acústica. No que se segue abaixo, os resultados da modelagem para

10 configurações de transdutores diferentes são comparados utilizando a den-

sidade de fluxo magnético estático campo e a densidade do fluxo magnético

de RF por unidade de corrente como critério.

As Figuras 3(a) - (b) mostram o layout de um transdutor para a
 geração de onda de cisalhamento. O comprimento de onda acústica é defi-

15 nido pelo período espacial da geração de campo magnético estático (dire-
 ções de magnetização dos ímãs estão representadas por setas na Figura 3).

Um modo de excitação desejado é selecionado escolhendo a frequência de
 operação na qual o fio do transmissor é acionado pela corrente de excitação.

O objeto a ser examinado é representado por 201. O ímã é representado por

20 205 com setas direcionais indicando a polaridade dos ímãs. O ferro traseiro

é representado por 205 e os fios de transmissão e recepção por 203.

A Figura 4(a) mostra os resultados de simulação 2-D para a con-
 figuração da Figura 3. Na mesma estão inscritas as isolinhas de campo re-

presentando o campo magnético estático. A Figura 4(b) mostra os resultados

25 de simulação 2-D com as isolinhas de campo representando o campo mag-

nético de RF do transdutor. A fim de mostrar o campo de RF primário, ape-

nas, a condutividade do objeto foi definida zero na superfície de excitação. A

Figura 4(c) mostra os resultados de simulação 2-D com as isolinhas de cam-

po representando o campo magnético de RF do transdutor com a suposição

30 de que o ímã seja não-condutor. As Figuras 4(a) - 4(c) também dão escala

para exibição. Comparando a Figura 4(b) e 4(c), vê-se que a presença de um ímã condutor na Figura 4(b) reduz o campo magnético de RF por um fator de cerca de 4. Uma vez que os ímãs não-condutores são tipicamente um terço da intensidade dos ímãs condutores, o uso de um ímã não-condutor causaria redução no tempo de quase 10 em termo de B_0^2 da equação (3). Portanto, as modalidades seguintes do transdutor são discutidas.

A Figura 5 mostra layout de um transdutor modificado. A principal diferença com o transdutor da Figura 3 é a adição de calços magnéticos leves 507. Os calços funcionam como um fluxo de RF concentrado de blindagem magnética resultado da dinamização do campo magnético de RF na superfície do objeto e protege o ímã condutor do campo de RF do fio. A Figura 6(a) mostra os resultados de simulação 2-D para a configuração da Figura 5. Na mesma estão inscritas as isolinhas de campo representando o campo magnético estático. A Figura 6(b) mostra os resultados de simulação 2-D com as isolinhas de campo representando o campo magnético de RF do transdutor. Novamente, a fim de mostrar o campo de RF primário apenas, a condutividade do objeto foi definida zero na superfície de excitação. Os resultados da modelagem mostram uma ligeira redução no campo magnético estático e um aumento dramático no campo de RF por unidade de corrente.

Compare $\frac{(70-60)\mu T}{A}$ na Figura 6(b) a $\frac{(10-15)\mu T}{A}$ na Figura 4(b).

É importante notar que o material magnético leve a ser utilizado neste pedido deve possuir uma alta densidade de fluxo de saturação e baixas perdas de RF na faixa de frequências até 1 MHz. Na aplicação para EMAT o material magnético leve pode não ter alta permeabilidade magnética uma vez que a permeabilidade eficaz do calço magnético é de forma predominantemente limitada. Do ponto de vista prático, a permeabilidade do material poderia ser tão baixa como 10 a 20. O uso deste tipo de materiais como um núcleo de antena em um sensor de RMN é descrito na Patente U.S. 6,452,388 para *Reiderman et al.*

A Figura 7 representa outra personificação do EMAT de onda de cisalhamento. Além dos calços magnéticos, um membro condutor de alta

saturação magnética 709 é adicionado. As configurações dos campos magnéticos (ver Figuras 8a a 8b), bem como o efeito do material leve magnético não-condutor são basicamente os mesmos do EMAT da Figura 5.

5 A Figura 9 mostra um EMAT de onda de Lamb da técnica anterior. Apresentada nas Figuras 10a, 10b e 10c estão o campo magnético estático, o campo magnético de RF, e o campo magnético de RF com um ímã hipotético não-condutor.

10 Um projeto utilizando uma camada de blindagem magnética feita do material magnético leve especificado não-condutor especificado acima é apresentado na Figura 11. A presença da camada 507 aumenta significativamente a eficácia de RF. Compare Figura 12b à Figura 10b.

15 Outra configuração para um EMAT de onda de Lamb utilizando o material magnético leve não-condutor acima especificado é apresentado na Figura 13. O transdutor inclui uma culatra 1311 feita de material magnético leve. O transdutor demonstra melhor eficácia para ambos o campo magnético estático e o campo magnético de RF. Compare a Figura 14(a) à Figura 10(a) e a Figura 14(b) à Figura 10(b).

20 As Figuras 15(a), 15(b), 15(c) mostram o efeito de uma blindagem EM (condutora) no campo magnético de RF isolado que pode ser uma fonte de diafonia (acoplamento direto) entre dois EMATs: utilizada no modo de transmissão e outro utilizado no modo de recepção. A diafonia é mais grave quando os parâmetros de propagação de ondas acústicas são medidos com dois EMATs colocados próximos (por exemplo, dentro de um tubular). As Figuras mostram as posições de algumas isolinhas de campos magnéticos de RF em três casos. Na Figura 15(a), não há blindagem (no modelo a condutividade da blindagem é definida como 0). Na Figura 15(b), apenas a parte central da blindagem está ativa (a condutividade dos enrolamentos laterais é definida como 0). Na Figura 15(c), o efeito da blindagem total é mostrado. Para simplificar a condutividade não-zero foi definida para o infinito. O efeito da blindagem é óbvio: o mesmo campo de RF é deixado muito mais próximo do transdutor comparado à situação "sem blindagem".

25

30

A descrição acima foi limitada a determinados tipos de ondas

produzidas no tubular. Isso não deve ser interpretado como uma limitação, e as novas características da presente invenção, podem ser utilizadas com outros dispositivos da técnica anterior para gerar uma onda compressiva, uma onda de cisalhamento, uma onda de cisalhamento polarizada transversalmente, uma onda de Lamb, e/ou uma onda de Rayleigh.

Em um dispositivo prático, os sinais recebidos pelo fio de recepção que são indicativos do movimento do objeto a ser examinado são processados por um processador que pode ser de fundo de poço ou de topo do poço. Fundamental para o processamento é a determinação da velocidade de propagação. Isso pode ser feito através de medições de uma onda de propagação utilizando um segundo transdutor deslocado a partir do primeiro transdutor, ou fazendo medições com diferentes partes do transdutor discutido acima. Os transdutores de transmissão e recepção podem estar circunferencialmente dispostos no lado de fora de uma ferramenta de registro e/ou axialmente dispostos no lado externo da ferramenta de registro. Assim, é possível determinar a velocidade de propagação de vários tipos de ondas em direções axial e/ou circunferencial.

Implícita no controle e processamento dos dados está a utilização de um programa de computador em um meio legível por máquina adequada que permite o processador desempenhar o controle e processamento. O meio legível por máquina pode incluir ROMs, EPROMs, EEPROMs, memórias flash e discos ópticos. Tal programa de computador pode gerar os resultados do processamento de um meio adequado tangível. Isto pode incluir um dispositivo de exibição e/ou um dispositivo de memória.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para avaliar um tubular, o aparelho **caracterizado por** compreender:

5 (a) um dispositivo de acoplamento eletromagnético compreendendo uma bobina, um ímã e uma blindagem magnética configurados para serem transportados para o tubular e energia acústica de acoplamento dentro do tubular, em que a blindagem magnética compreende um material magnético leve não-condutor possuindo uma alta densidade de fluxo de saturação e baixas perdas de RF.

10 2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o dispositivo de acoplamento é adicionalmente configurado para propagar uma onda acústica no tubular.

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o dispositivo de acoplamento é adicionalmente configurado para 15 gravar uma propagação de onda acústica no tubular.

4. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** compreende adicionalmente uma blindagem eletromagnética.

5. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o dispositivo de acoplamento eletromagnético é adicionalmente 20 configurado para formar uma onda dentro do tubular, a onda possuindo uma polarização que é aquela de pelo menos um de (i) uma onda compressiva, (ii) uma onda de cisalhamento, (iii), uma onda de cisalhamento polarizada transversalmente, (iv) uma onda de Lamb, e (v) uma onda de Rayleigh.

6. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** os tubulares compreendem uma carcaça em um poço, o aparelho 25 compreendendo adicionalmente uma ferramenta de registro, incluindo o dispositivo de acoplamento eletromagnético.

7. Aparelho, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado pelo fato de que** compreende adicionalmente uma pluralidade de dispositivos de 30 acoplamento eletromagnético dispostos na ferramenta de registro.

8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo fato de que** compreende adicionalmente um processador configurado para

determinar uma velocidade de propagação de uma onda acústica no tubular utilizando um sinal gerado por um da pluralidade de dispositivos de acoplamento eletromagnético e recebido pelos outros da pluralidade de dispositivos de acoplamento eletromagnético.

5 9. Método para avaliar um tubular, o método **caracterizado por** compreender:

(a) transmitir um dispositivo de acoplamento eletromagnético (EMAT), compreendendo uma bobina, um ímã e uma blindagem magnética no tubular;

10 (b) transmitir uma corrente elétrica para a bobina; e

(c) acoplar a energia acústica ao tubular.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** acoplar a energia acústica compreende adicionalmente propagar uma onda acústica no tubular.

15 11. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** acoplar a energia acústica compreende adicionalmente gravar a propagação de ondas acústicas no tubular.

20 12. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** compreende adicionalmente utilizar uma blindagem eletromagnética.

25 13. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** compreende ainda utilizar o dispositivo de acoplamento eletromagnético para formar uma onda dentro do tubular, a onda possuindo uma polarização que é aquela de pelo menos uma de (i) uma onda compressiva, (ii) uma onda de cisalhamento, (iii) uma onda de cisalhamento polarizada transversalmente, (iv) uma onda de Lamb, e (v) uma onda de Rayleigh.

30 14. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** o tubular compreende uma carcaça em um furo de poço, o método compreendendo ainda dispor o dispositivo de acoplamento eletromagnético em uma ferramenta de registro.

15. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado**

pelo fato de que compreende ainda determinar uma velocidade de propagação de uma onda acústica no tubular utilizando um sinal gerado por um da pluralidade de dispositivos de acoplamento eletromagnético e recebido por outro da pluralidade de dispositivos de acoplamento eletromagnético.

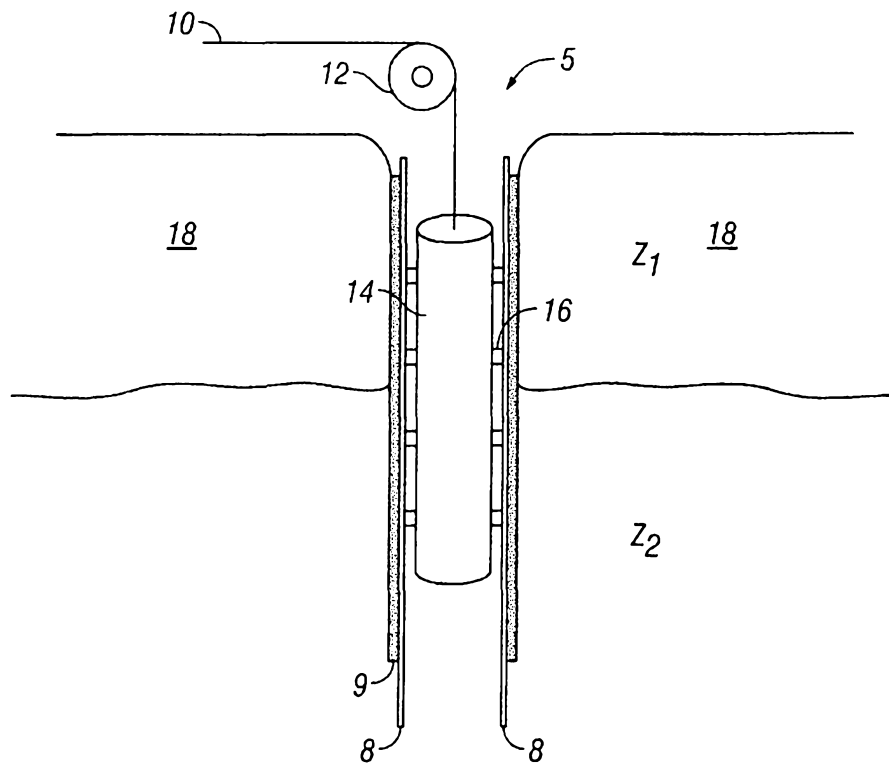


FIG. 1

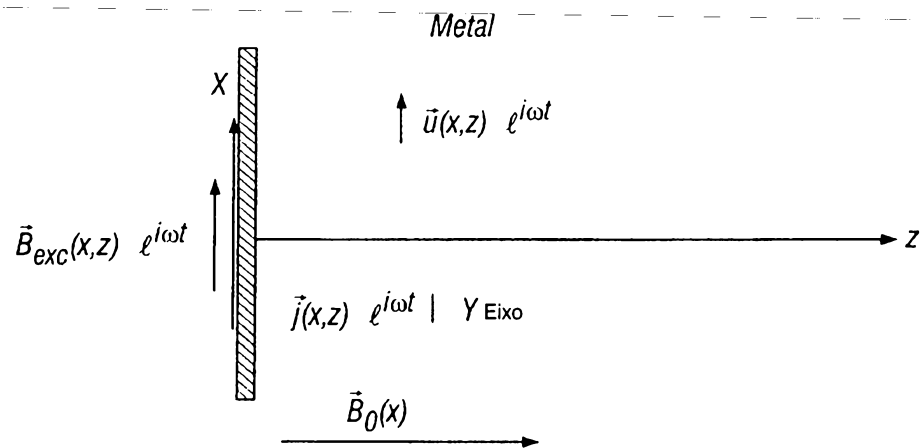


FIG. 2

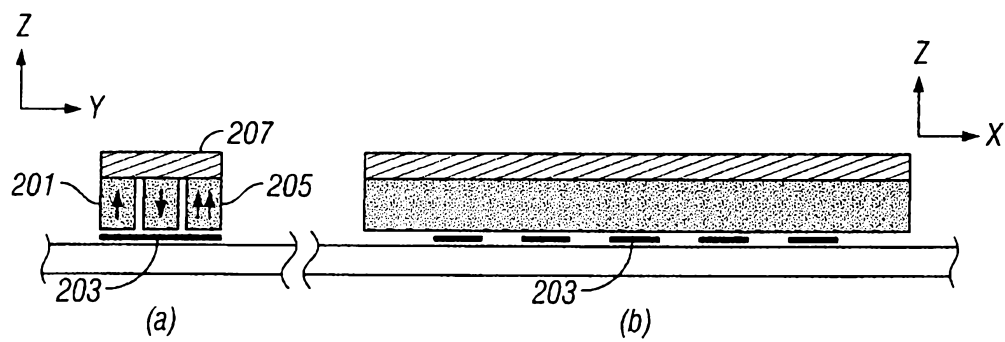


FIG. 3

(Técnica anterior)

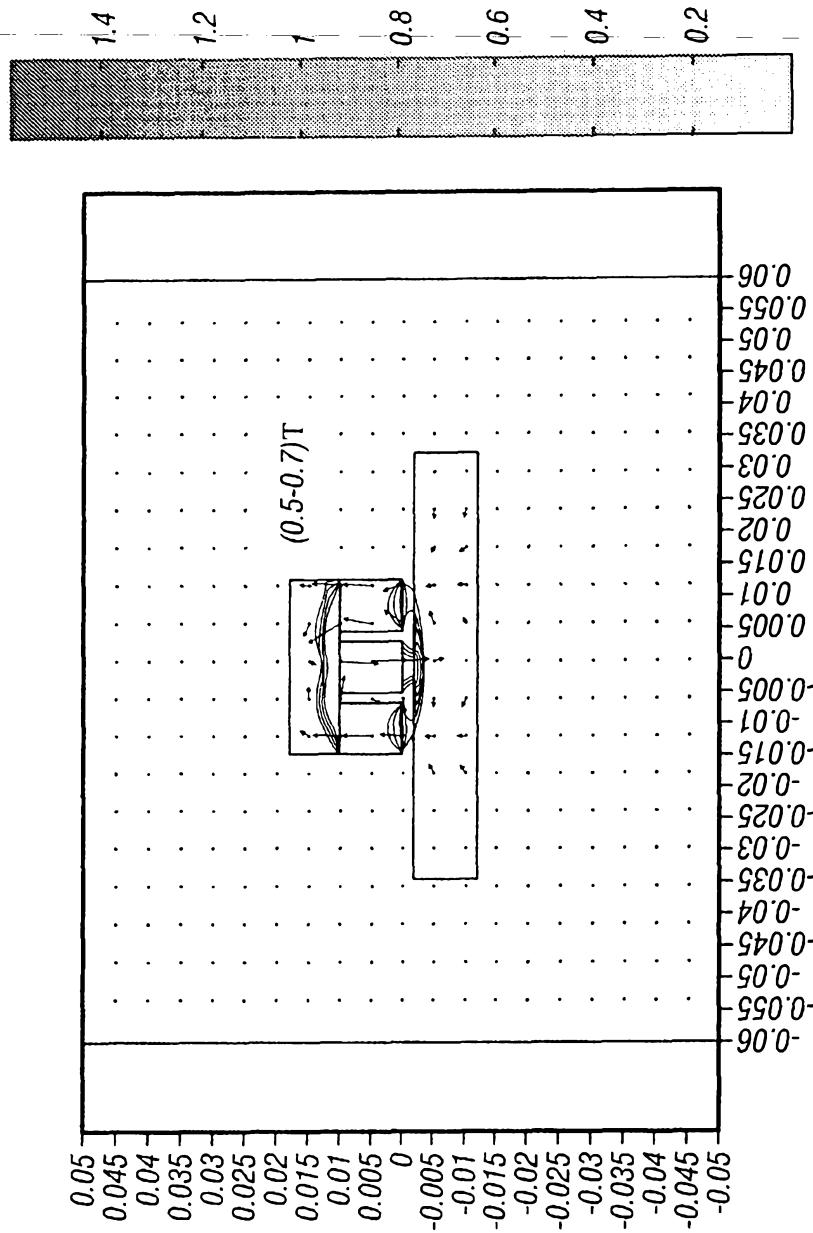


FIG. 4(a)

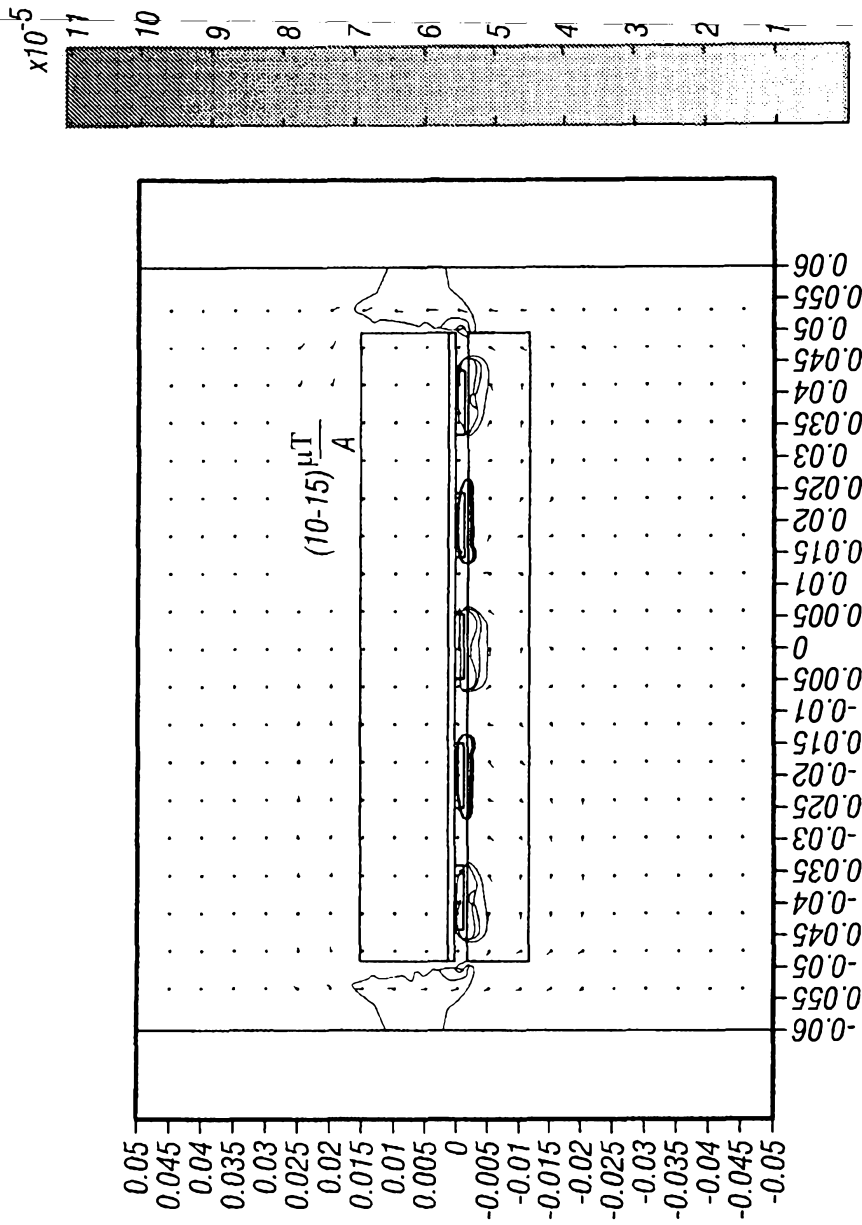


FIG. 4(b)

5/24

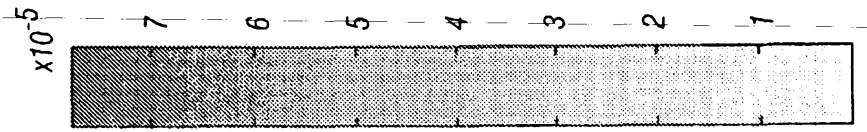
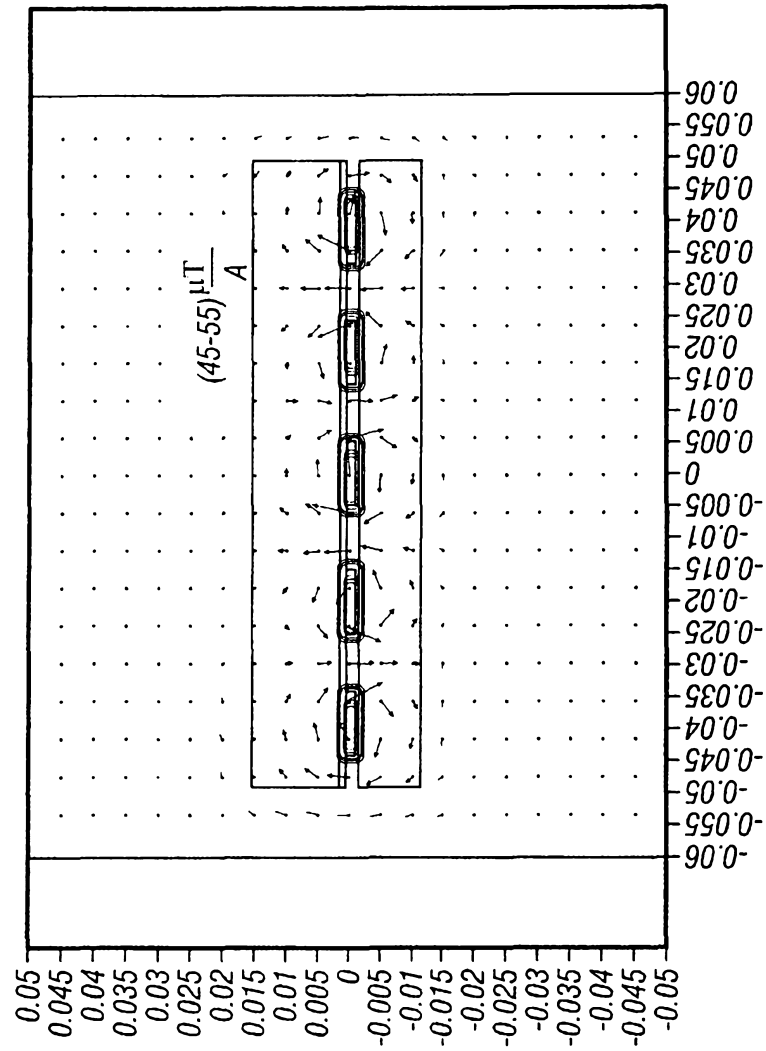


FIG. 4(c)

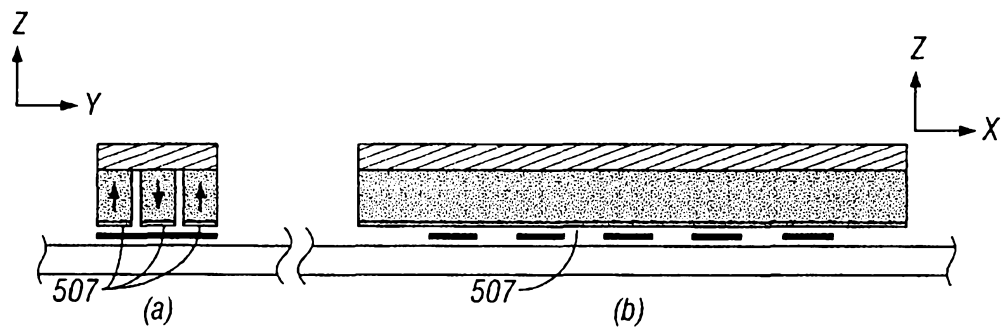


FIG. 5

7/24

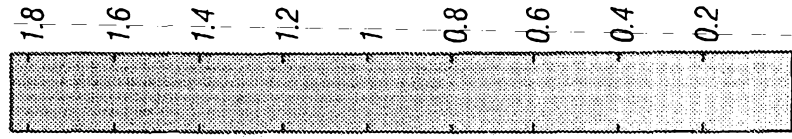
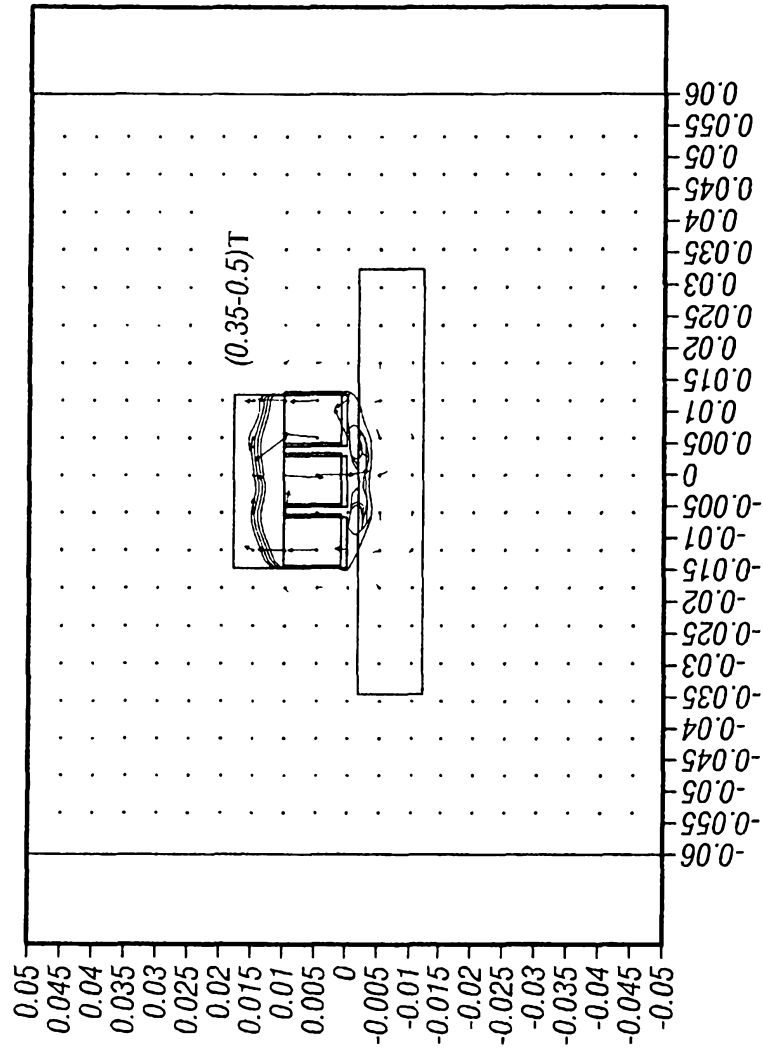


FIG.6(a)

8/24

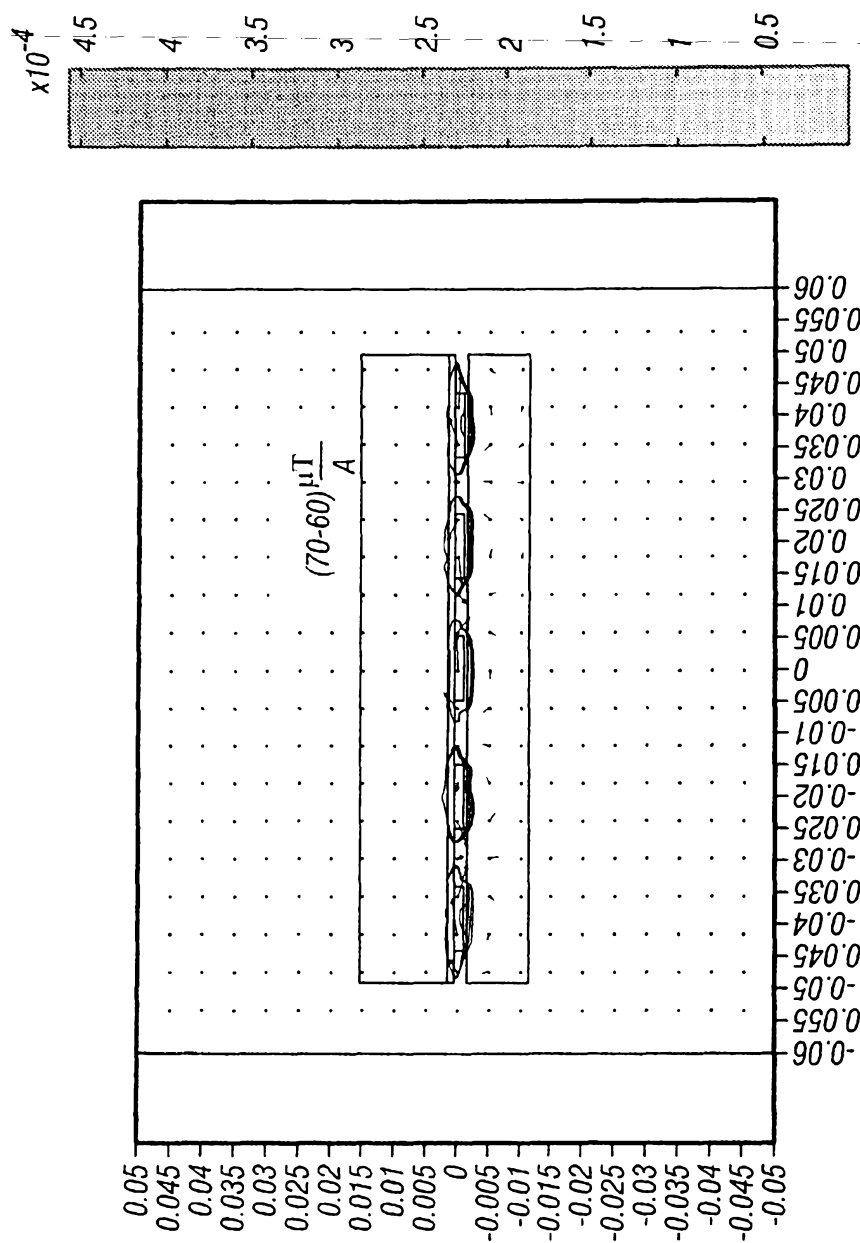


FIG. 6(b)

9/24

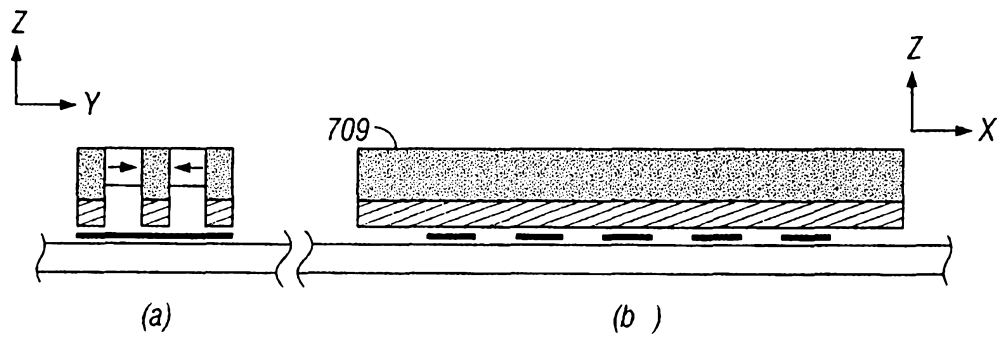


FIG. 7

10/24

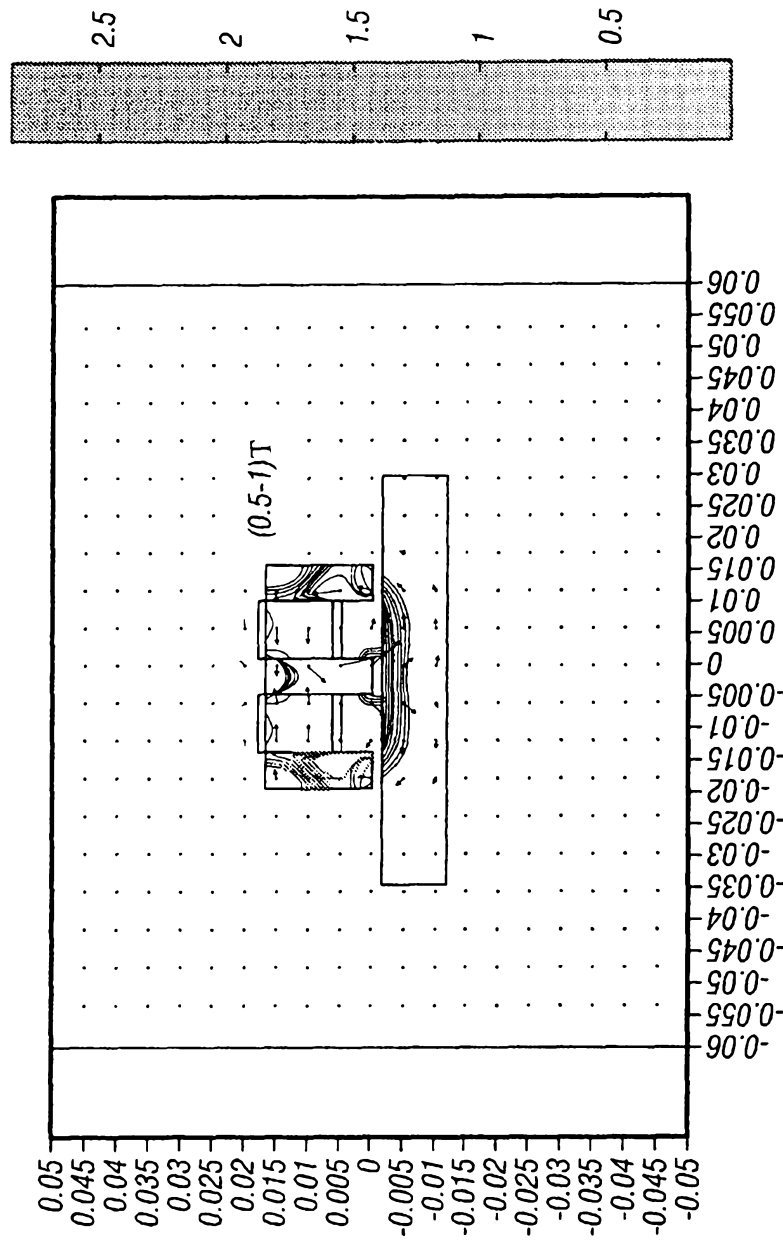


FIG. 8(a)

11/24

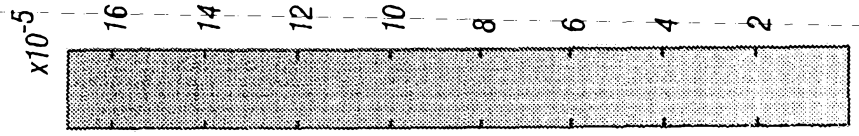
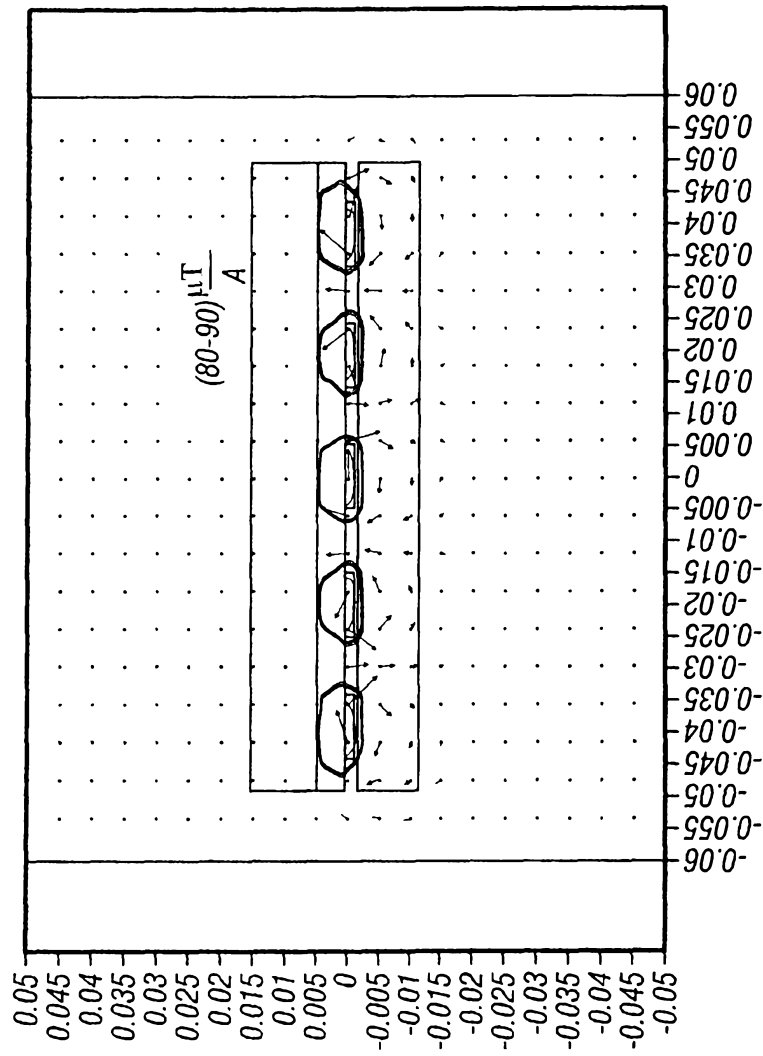


FIG. 8(b)

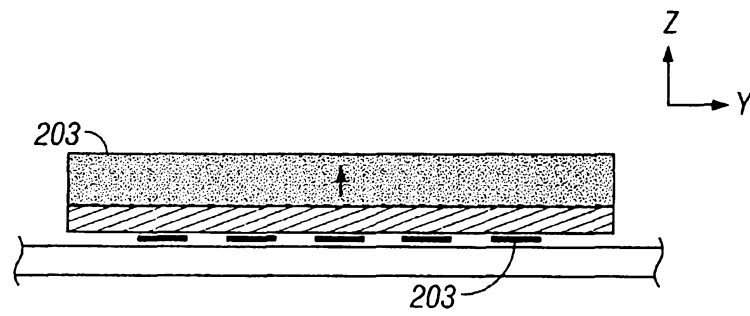


FIG. 9
(Técnica anterior)

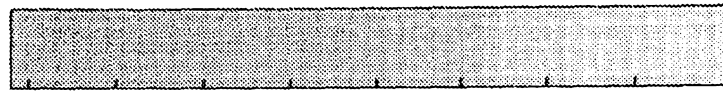
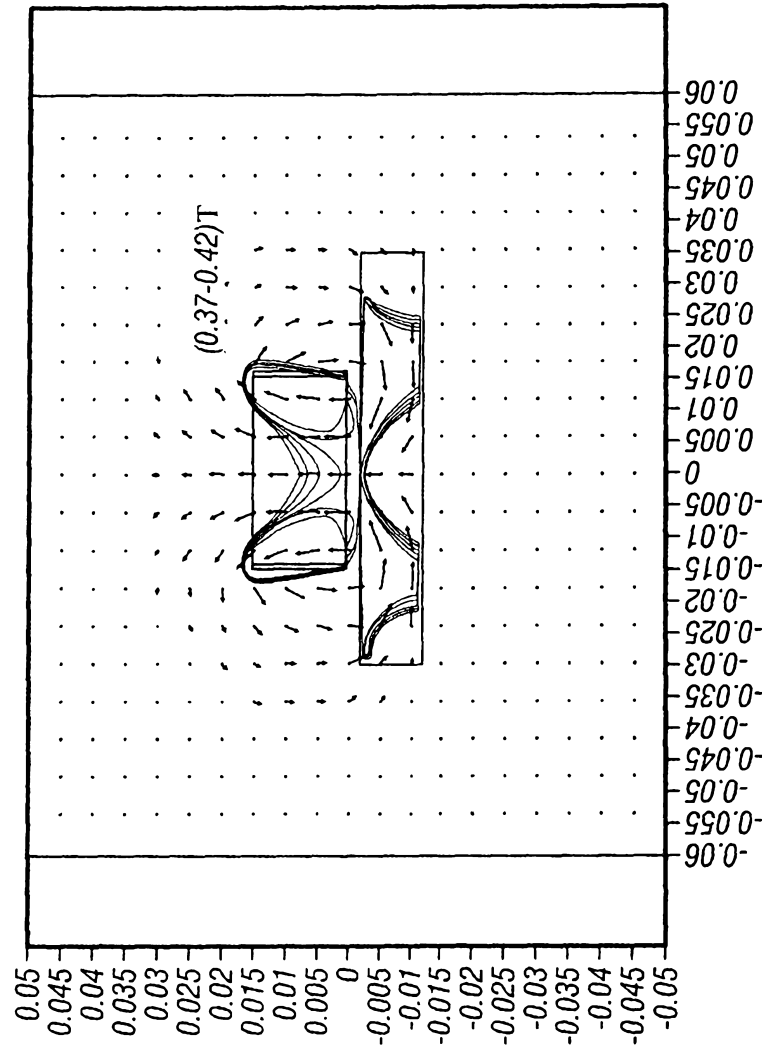


FIG. 10(a)

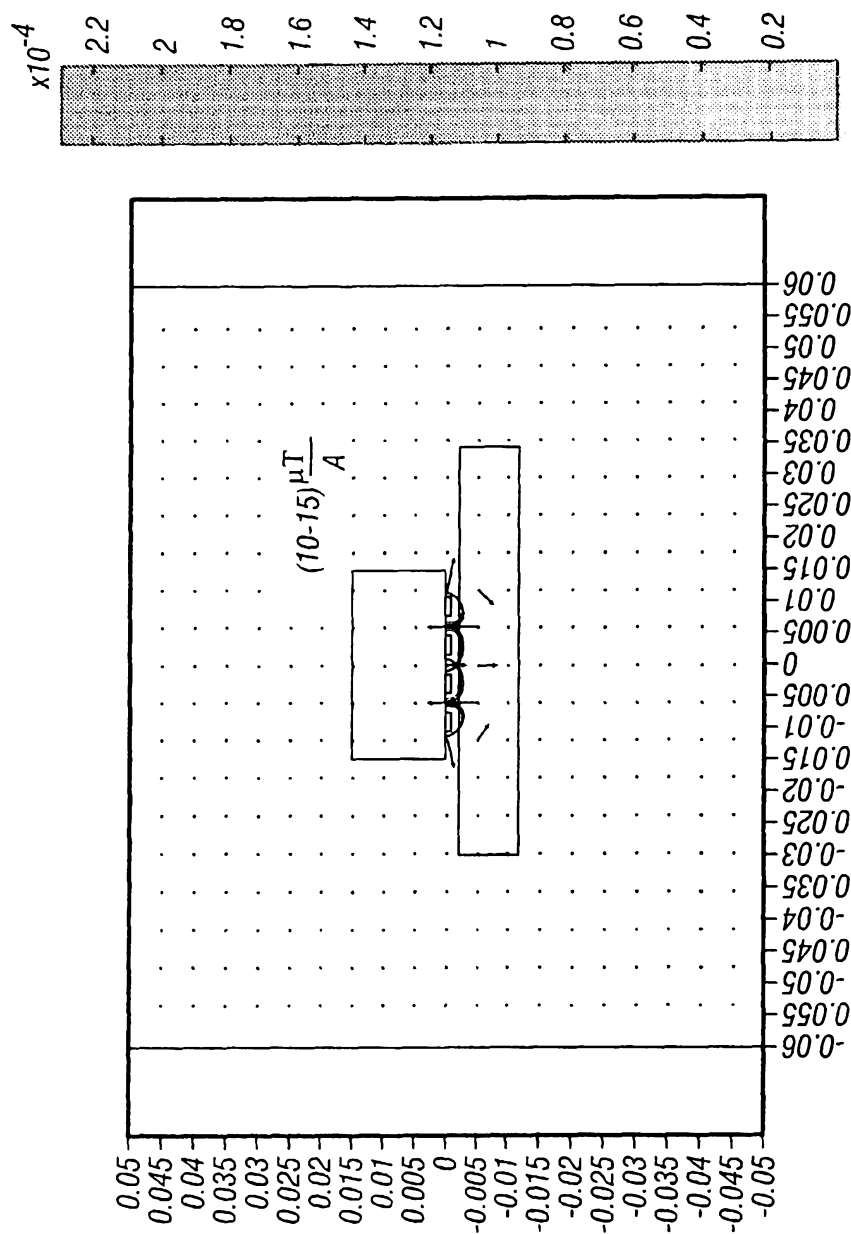


FIG. 10(b)

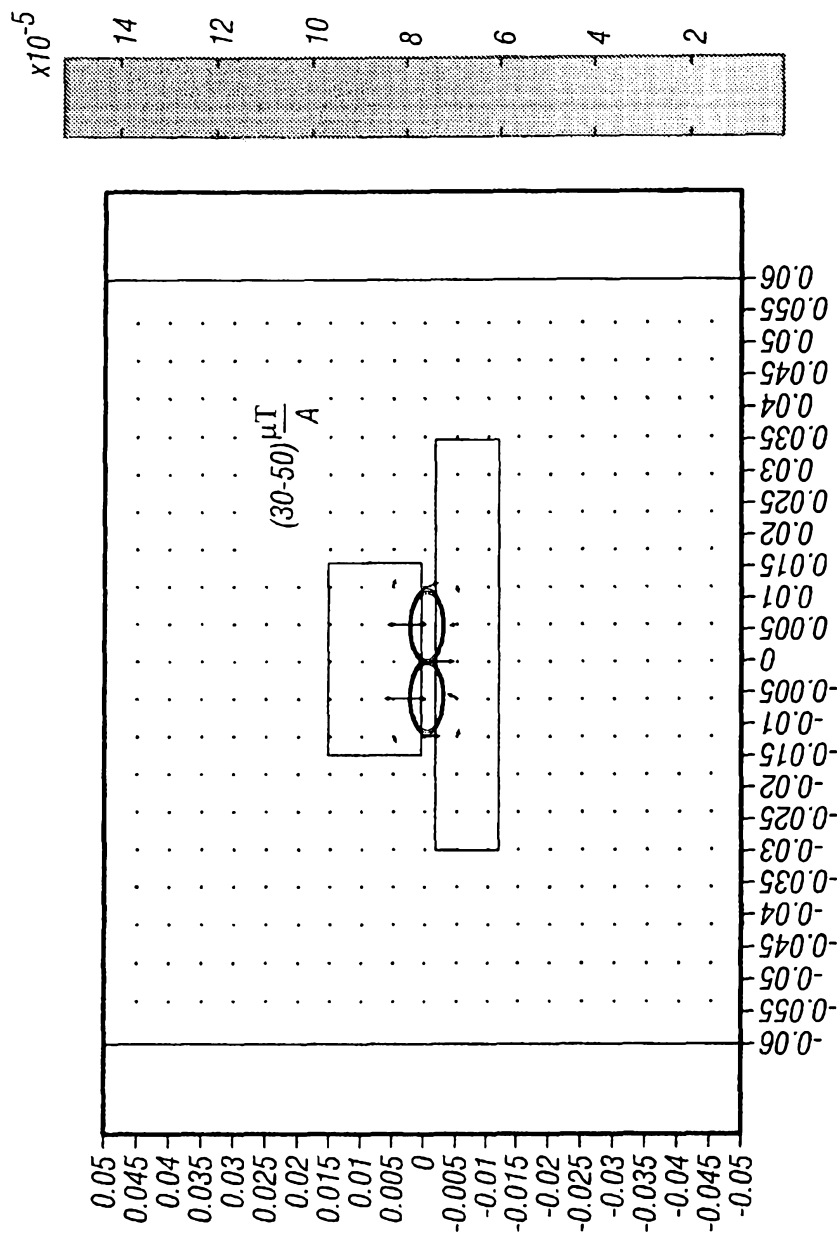


FIG. 10(c)

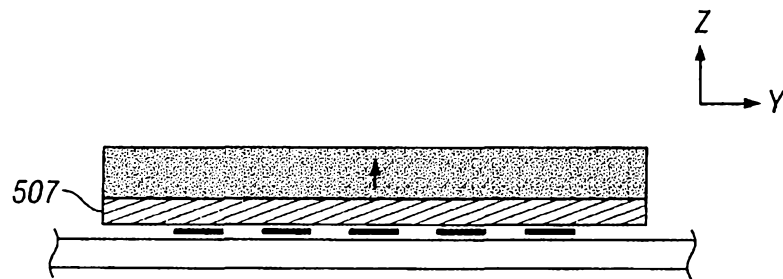


FIG. 11

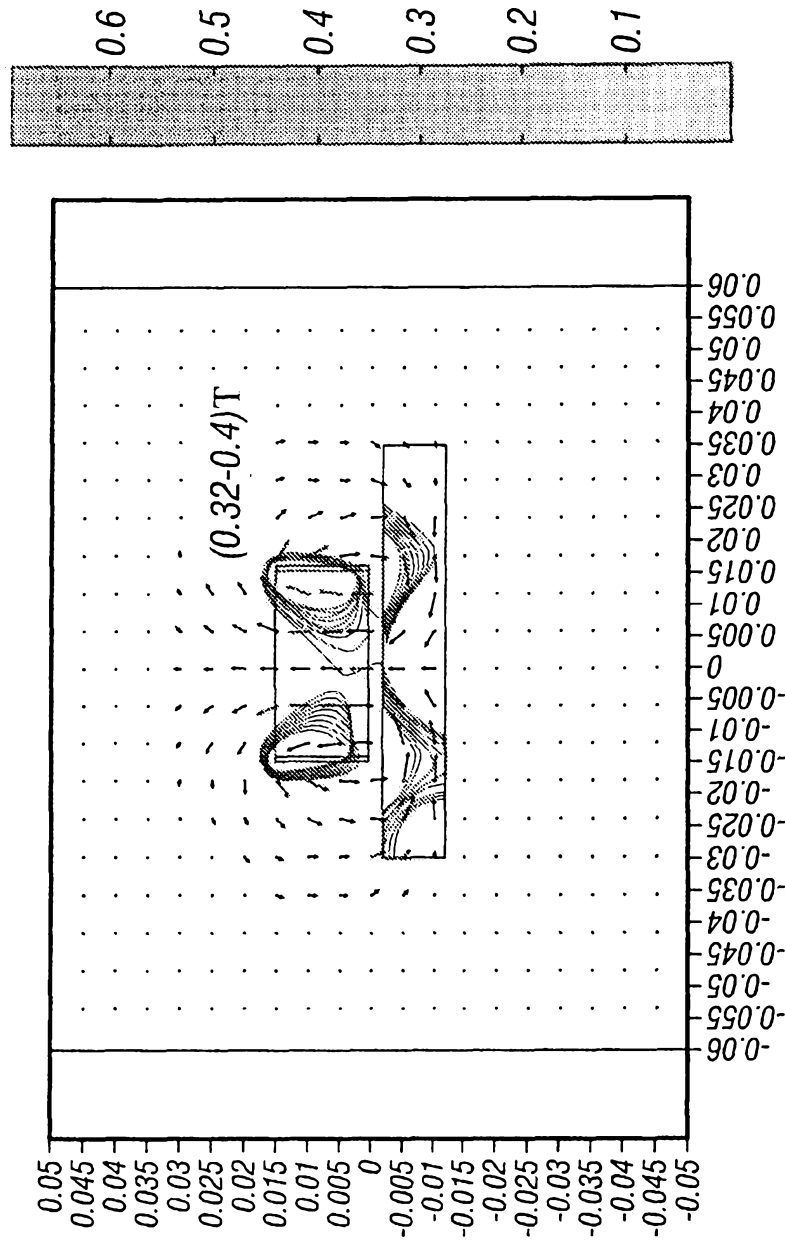


FIG. 12(a)

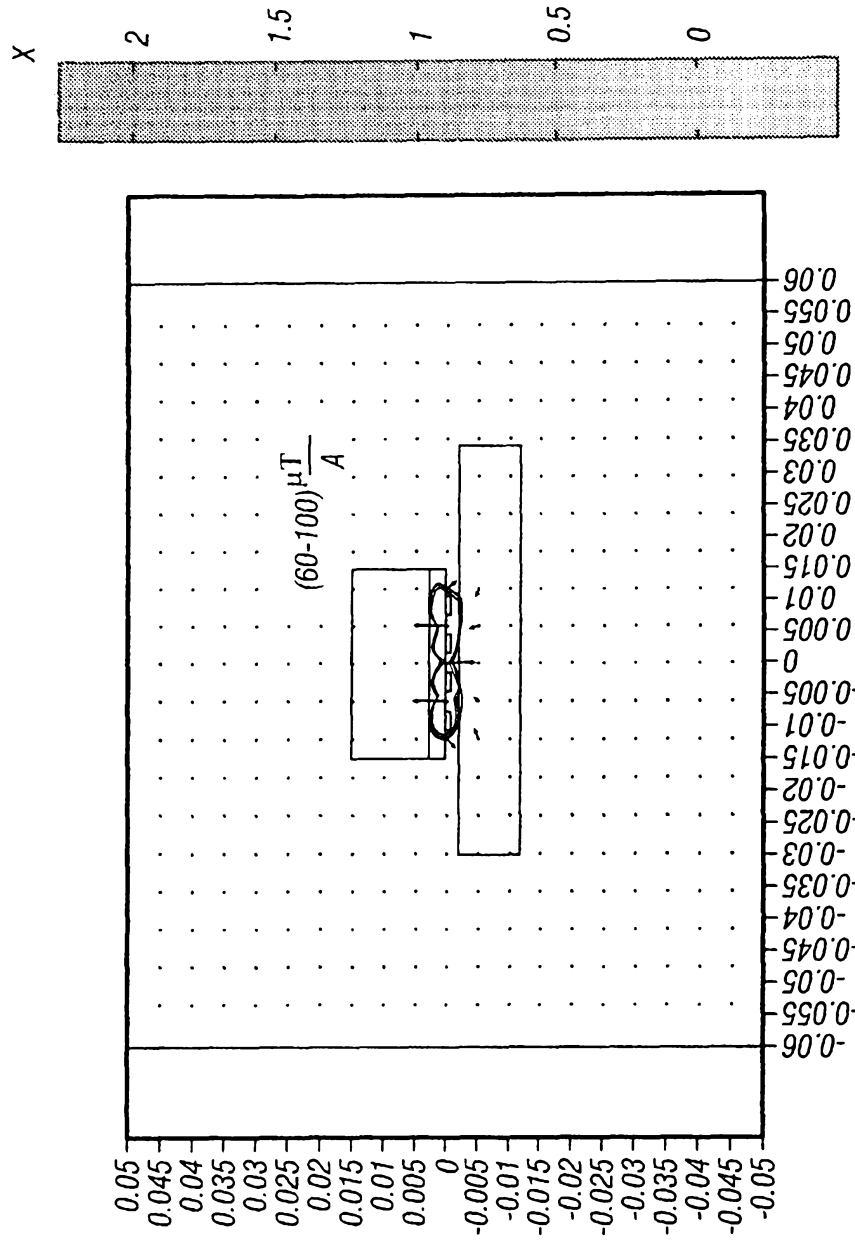


FIG. 12(b)

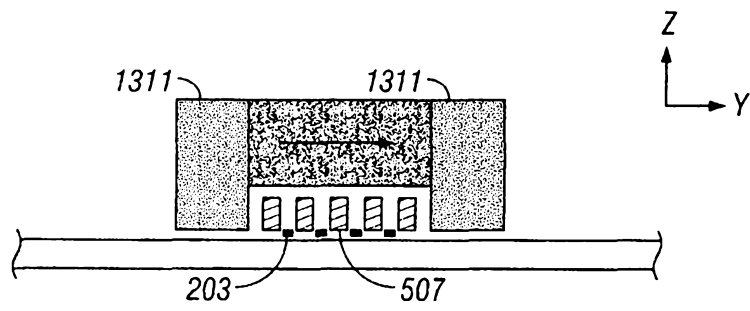


FIG. 13

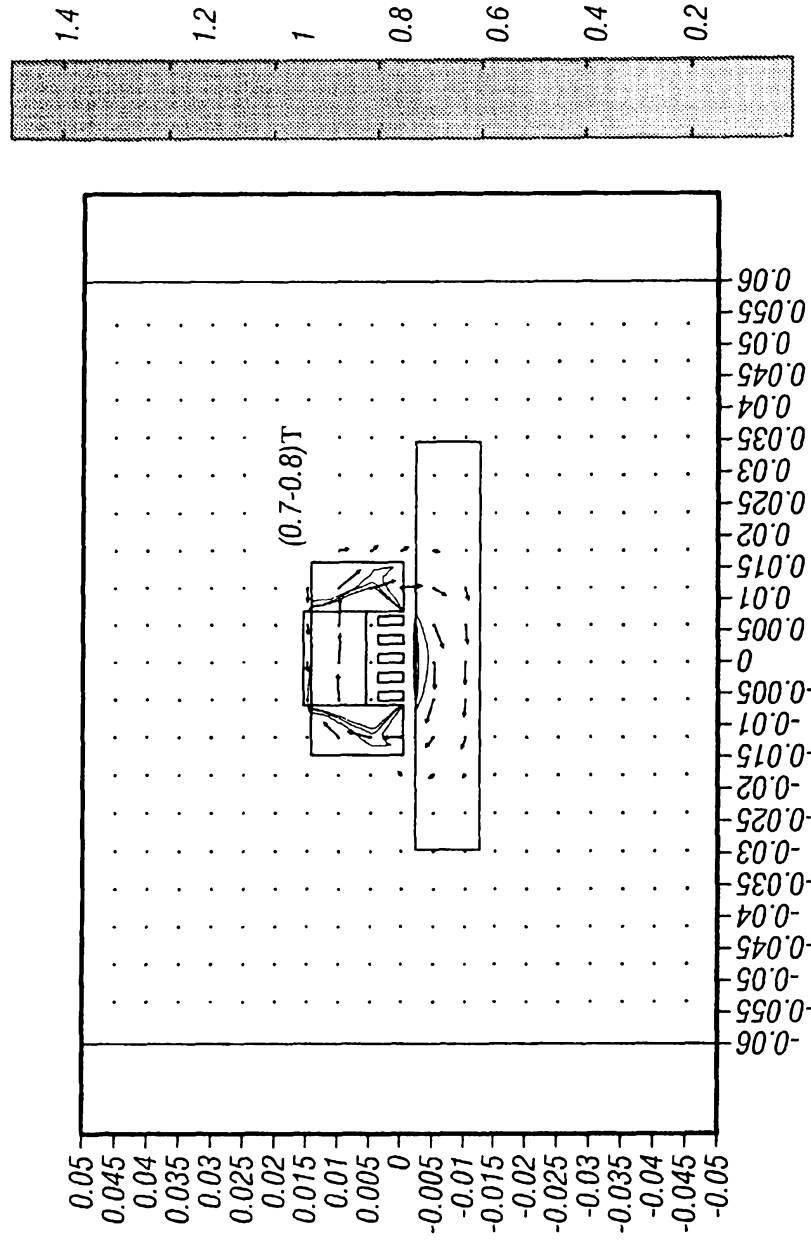


FIG. 14(a)

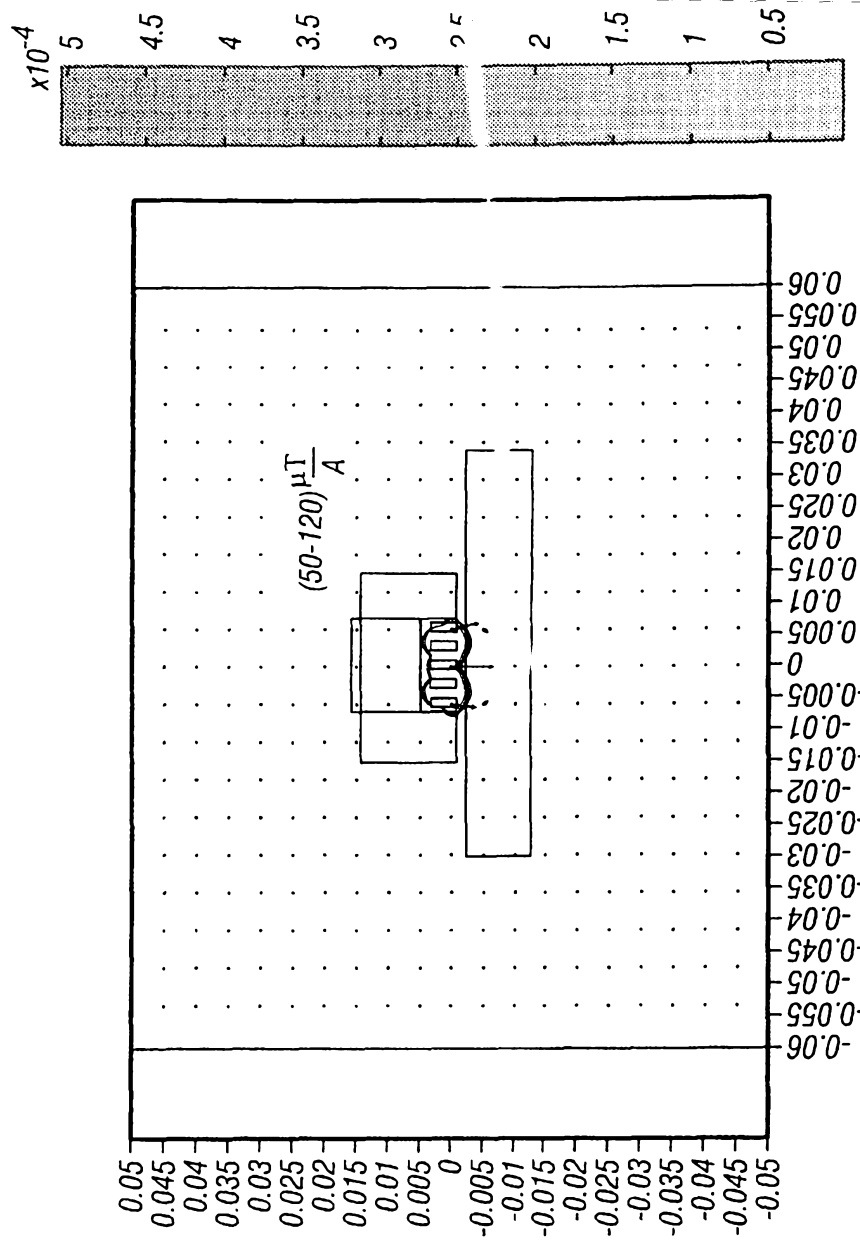


FIG. 14(b)

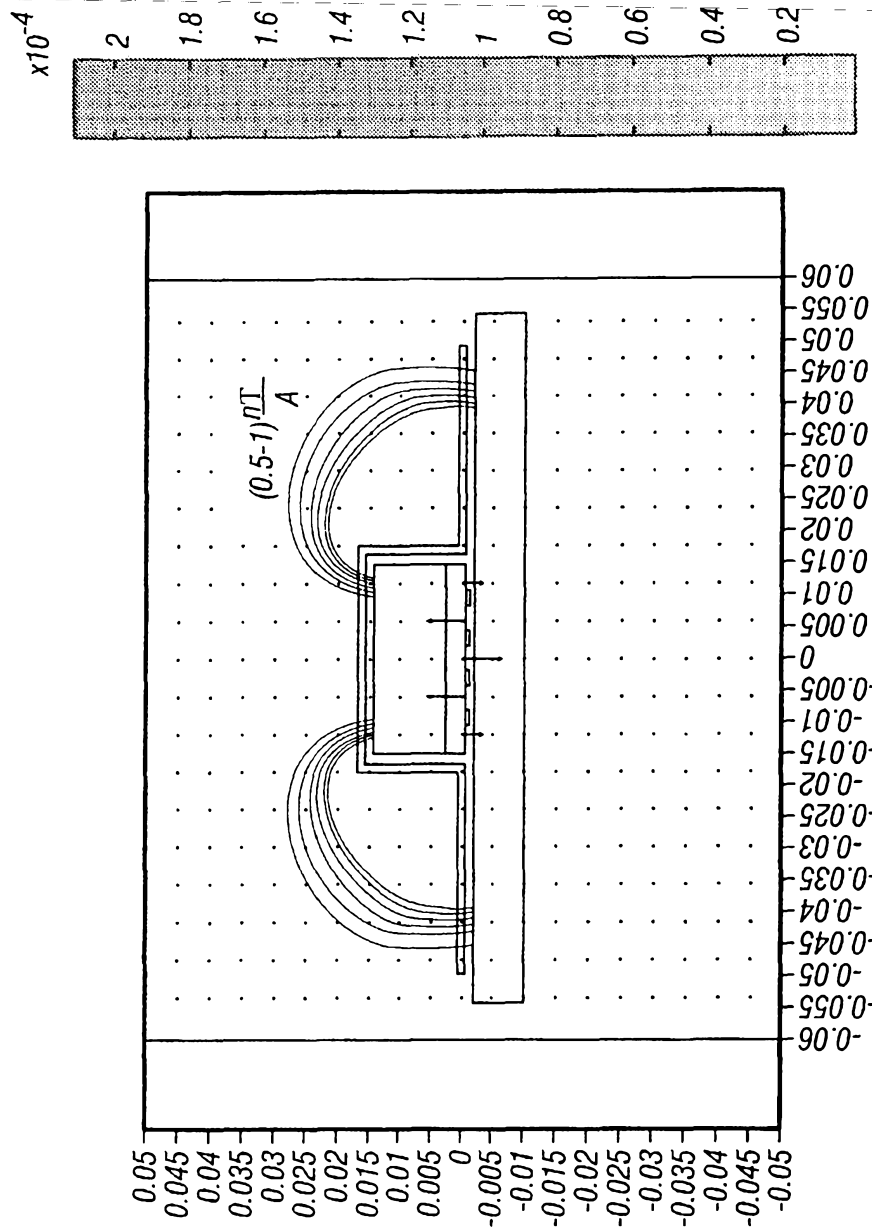


FIG. 15(a)

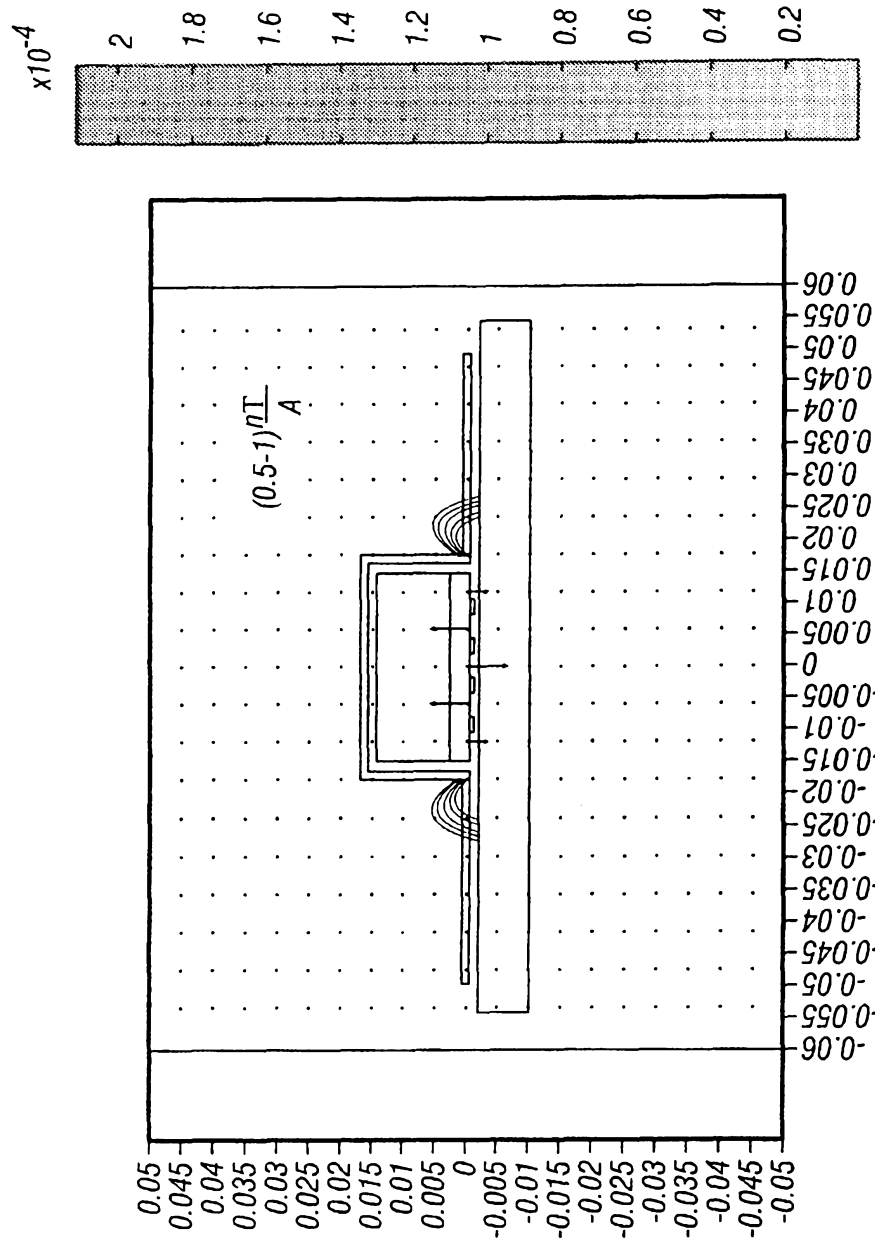


FIG. 15(b)

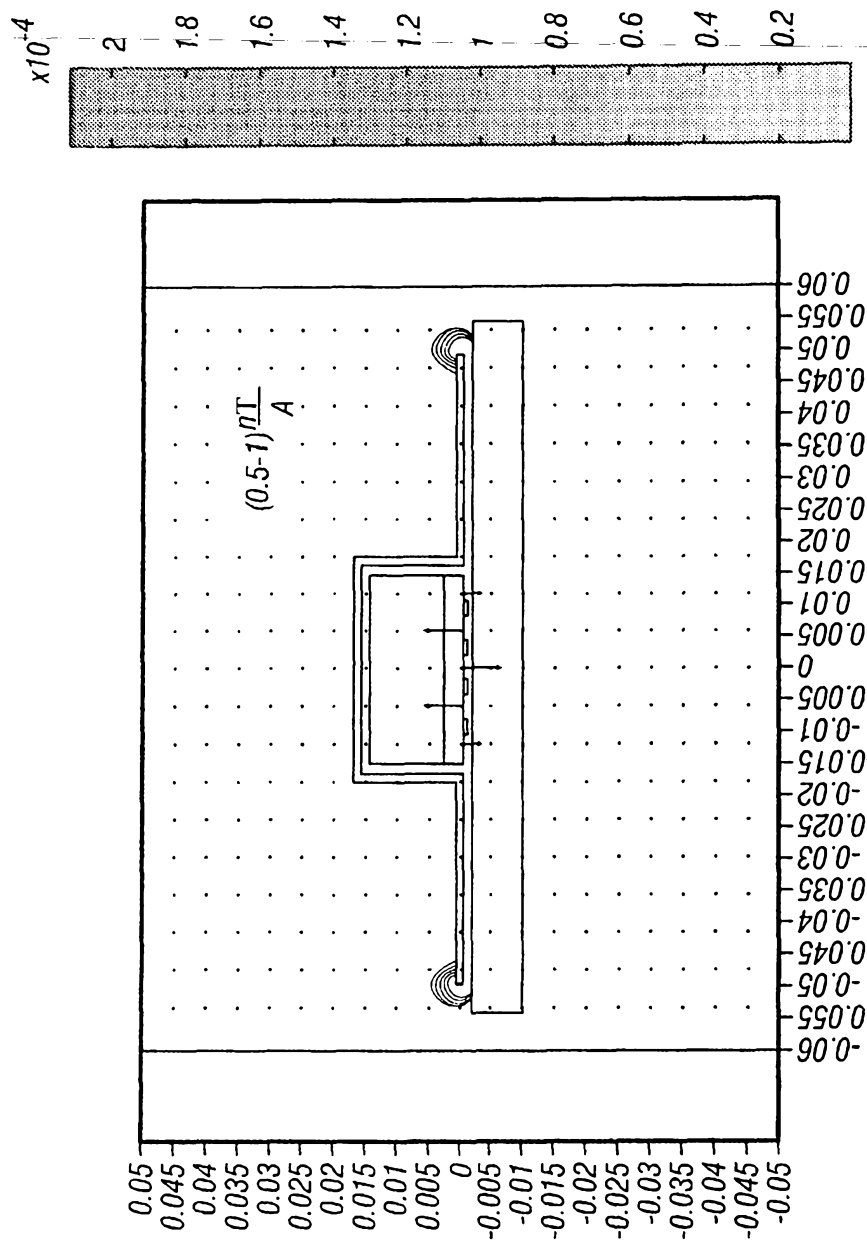


FIG. 15(c)