



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

(21) BR 112019020069-0 A2



(22) Data do Depósito: 22/03/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 28/04/2020

(54) **Título:** SISTEMA DE CABO PARA USO EM INTERIOR DE POÇO, E, MÉTODO PARA PERFURAR UM FURO DE POÇO TUBULAR.

(51) **Int. Cl.:** E21B 47/09; E21B 47/12; E21B 17/00.

(30) **Prioridade Unionista:** 27/03/2017 US 62/477264.

(71) **Depositante(es):** SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V..

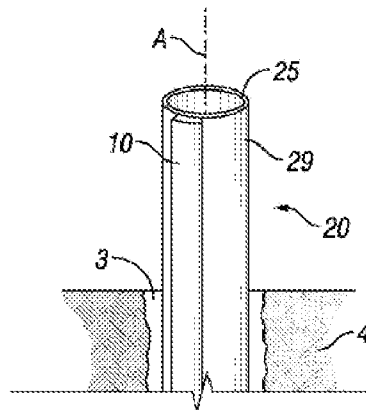
(72) **Inventor(es):** DHARUV ARORA; MATHEUS NORBERTUS BAAIJENS; STEPHEN PALMER HIRSHBLOND; DERRICK MELANSON; BRIAN KELLY MCCOY.

(86) **Pedido PCT:** PCT US2018023788 de 22/03/2018

(87) **Publicação PCT:** WO 2018/183084 de 04/10/2018

(85) **Data da Fase Nacional:** 25/09/2019

(57) **Resumo:** Trata-se de um sistema para fornecer informações através de uma parede de metal que emprega um dispositivo (10), tal como um cabo de fibra óptica, adaptado para ser disposto sobre um lado da parede de metal (20) e um elemento de permeabilidade magnética (11), fornecido a, perto de ou conectado ao dispositivo. O elemento de permeabilidade magnética se baseia em um material que tem uma permeabilidade magnética relativa de pelo menos 2.000. A divulgação fornece ainda o uso de tal sistema. O uso pode envolver a etapa de otimizar o elemento de permeabilidade magnética usando massa indutiva equivalente (Elm). O sistema pode, por exemplo, ser usado para identificar a localização de um cabo (10) presente no exterior de um furo de poço tubular (20) usando uma ferramenta de orientação magnética que é localizada no interior do furo de poço tubular.



SISTEMA DE CABO PARA USO EM INTERIOR DE POÇO, E, MÉTODO PARA PERFURAR UM FURO DE POÇO TUBULAR

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção é geralmente direcionada a um sistema de cabo para uso no interior de poço e, especificamente, a um sistema de cabo magneticamente detectável. Em um aspecto, a invenção é direcionada a um método de perfuração de um tubular de furo de poço dotado desse sistema de cabo.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] Na prática de operação de poços de óleo e gás, não é incomum implantar um ou mais sistemas de cabo ao lado de um casing. Esses sistemas de cabo podem incluir cabos hidráulicos, cabos elétricos e/ou cabos de fibra óptica. Tais cabos podem fornecer recursos de energia e/ou comunicação (p/c) entre os locais de superfície e de interior de poço.

[003] O uso, em particular, de sensores de fibra óptica (FO) em aplicações de interior de poço está aumentando. Em particular, fibras ópticas que podem servir como sensores de temperatura distribuídos (DTS), sensores químicos distribuídos (DCS) ou sensores acústicos distribuídos (DAS) e, se fornecidos com grades de Bragg ou similares, como sensores distintos capazes de medir vários parâmetros de interior de poço. Em cada caso, os sinais de luz de uma fonte de luz são transmitidos para uma extremidade do cabo e são transmitidos e através do cabo. Os sinais que passaram pelo cabo são recebidos no receptor e analisados no microprocessador. O receptor pode estar na mesma extremidade do cabo que a fonte de luz; nesse caso, os sinais recebidos foram refletidos dentro do cabo ou podem estar na extremidade oposta do cabo. Em qualquer caso, os sinais recebidos contêm informações sobre o estado do cabo ao longo de seu comprimento, informações que podem ser processadas para fornecer as informações mencionadas acima sobre o ambiente em que o cabo está localizado.

[004] Nos casos em que se deseja obter informações sobre um poço, uma fibra óptica deve ser posicionada no poço. Por exemplo, pode ser desejável usar o DTS para avaliar a eficácia de perfurações individuais no poço. Como a fibra óptica precisa ser implantada ao longo do comprimento da região de interesse, que pode ser milhares de metros de poço, é prático conectar o cabo à parte externa da tubulação que é colocada no furo. Em muitos casos, o cabo é fixado à parte externa do casing, de modo que fique próximo do furo de poço.

[005] Quando um sistema de cabo de fibra óptica, ou outro tipo de sistema de cabo, estiver disposto do lado de fora do casing, a perfuração orientada do casing pode se tornar importante se o sistema de cabo estiver presente no nível das perfurações planejadas. Em alguns casos, uma prática atual para a implantação de cabos de sensores de fibra óptica pode implicar a adição de um ou mais cabos de aço que correm paralelos e adjacentes ao cabo de fibra óptica. Tanto as cordas quanto o cabo podem ser presos à parte externa da tubulação por grampos, como, por exemplo, grampos e protetores ou com tiras e fivelas de aço inoxidável e centralizadores rígidos. Esse equipamento é bem conhecido na técnica e está disponível junto a, entre outros, Cannon Services Ltd. de Stafford, Texas. Os cabos de aço são preferencialmente ferromagnéticos (isto é, eletromagneticamente condutivos), para que possam servir como marcadores para determinar a localização azimutal da fibra óptica e, posteriormente, orientar as pistolas de perfuração para longe do cabo de fibra. Esses cabos podem ser da ordem de 1 a 2 cm de diâmetro, de modo a fornecer massa e área de superfície suficientes para a localização dos sensores eletromagnéticos. Devido ao seu tamanho, o uso de cabos de aço pode exigir um “aumento de tamanho” caro do furo de poço para acomodar o diâmetro adicionado. Além de necessitar de um poço maior, os cabos de aço são suscetíveis de serem empurrados para o lado quando passam por locais apertados ou patas no furo de poço. Cabos de aço que foram

desalojados de sua posição original são menos eficazes, tanto para localizar o cabo de fibra óptica quanto para proteger o cabo óptico de danos.

[006] Os documentos de números US-2015/0041117 e US-2016/0290835 divulgam um sistema em que uma fibra óptica é dotada de duas tiras de metal. A localização azimutal do sistema de cabo de fibra óptica pode ser estabelecida a partir do interior do casing detectando-se sinais de fluxo magnético. As tiras podem ser detectadas por um detector de metal eletromagnético do furo do poço tubular para revelar a localização azimutal do cabo de fibra óptica. As tiras de metal podem ser feitas de um material eletricamente condutor ou ferromagnético, como aço, níquel, ferro, cobalto e suas ligas.

[007] No entanto, esses projetos de cabos e configurações de instalação podem exigir um mapeamento extensivo com uma ferramenta de orientação magnética (MOT), para obter a precisão necessária em relação à localização do cabo. O MOT, que normalmente é uma ferramenta de cabo de aço, pode ter que ser parado várias vezes a cada junta de tubo para que várias juntas de tubo localizem o cabo e construam um mapa de localização do cabo com confiabilidade suficiente.

[008] Portanto, é desejável fornecer um sistema e método aprimorados para determinar magneticamente a posição azimutal de um cabo, por exemplo, um cabo que compreende uma fibra óptica, implantado na parte externa de um tubular. Esse sistema aprimorado pode precisar de menos locais de medição e/ou determinar o azimute do local do cabo com menos incerteza.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[009] Em um aspecto, a presente invenção fornece um sistema de cabo para uso em interior de poço que compreende um cabo e um elemento de permeabilidade magnética configurada ao longo de um comprimento do cabo, sendo que o dito elemento de permeabilidade magnética compreende um

material que tem uma permeabilidade magnética μ_r relativa de pelo menos 2.000.

[0010] Em operação, o cabo e o elemento de permeabilidade magnética são dispostos em um lado de uma parede de metal, pelo que o cabo e o elemento de permeabilidade magnética podem ser localizados usando uma ferramenta de orientação magnética no outro lado da parede. A ferramenta de orientação magnética detecta o elemento de permeabilidade magnética através da parede de metal.

[0011] Em um outro aspecto, a invenção fornece um método para perfurar um furo de poço dotado de um sistema de cabo para uso em interior de poço que compreende:

- fornecer um tubular de furo de poço em interior de poço, em que o sistema de cabo, conforme definido acima, está disposto em um exterior do referido tubular de furo de poço;

- abaixar uma ferramenta de orientação magnética no tubular de furo de poço;

- localizar o sistema de cabo através da parede do tubular de furo de poço com a ferramenta de orientação magnética;

- subsequentemente perfurar a parede de metal do tubular de furo de poço para longe do sistema de cabo.

[0012] Salvo indicação em contrário, todos os parâmetros relacionados aos materiais, incluindo permeabilidades magnéticas, condutividade, resistividade, são definidos a 20 °C.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0013] As Figuras dos desenhos representam uma ou mais implementações de acordo com os presentes ensinamentos, apenas a título de exemplo, não como limitação. Nas Figuras, números de referência iguais se referem aos mesmos elementos ou a elementos semelhantes.

[0014] A Figura 1 mostra uma vista em perspectiva de um elemento

tubular dotado de um sistema de cabo de fibra óptica;

A Figura 2 mostra uma vista em seção transversal do elemento tubular da Figura 1 e uma modalidade de um sistema de cabo de fibra óptica de acordo com a presente divulgação;

A Figura 3 mostra uma vista em corte transversal de uma seção do elemento tubular da Figura 1 e outra modalidade de um sistema de cabo de fibra óptica;

A Figura 4 mostra uma vista lateral de um sistema de cabo de fibra óptica montado no elemento tubular;

A Figura 5 mostra uma vista em corte transversal do elemento tubular da Figura 1 e uma modalidade de um sistema de cabo de fibra óptica;

As Figuras 6 a 14 mostram vistas em corte transversal das respectivas modalidades de um sistema de cabo de fibra óptica de acordo com a presente divulgação;

A Figura 15 mostra uma vista em corte transversal de uma modalidade de um sistema de cabo de fibra óptica colocado entre vários tubulares;

A Figura 16 mostra uma vista em corte transversal de uma modalidade de um sistema de cabo de fibra óptica colocado na parte externa de múltiplos tubulares;

A Figura 17 mostra uma vista parcialmente cortada de uma conexão de tubulação compreendendo um marcador como uma modalidade exemplar;

A Figura 18 mostra uma vista em perspectiva de outra modalidade para a localização de um dispositivo utilizando material de alta contraste EM na forma de uma fita; e

A Figura 19 mostra um diagrama exemplar indicando a força do sinal em relação aos sinais de fundo (eixo horizontal) versus um número de ocorrências de detecção (eixo vertical) para vários sistemas de cabo

ópticos.

[0015] Essas Figuras são esquemáticas e não estão em escala. Os números de referência idênticos usados nas Figuras diferentes se referem a componentes semelhantes. Dentro do contexto do presente relatório descritivo, as seções transversais são sempre consideradas perpendiculares à direção longitudinal.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0016] O versado na técnica perceberá prontamente que, embora a descrição detalhada da invenção seja ilustrada fazendo-se referência a uma ou mais modalidades, cada uma tendo combinações específicas de características e medidas, muitas dessas características e medidas podem ser igualmente ou similarmente aplicadas independentemente em outras modalidades ou combinações.

[0017] A presente descrição pode fazer referência ao cabo hidráulico, cabo elétrico ou cabo de fibra óptica. Para fins de interpretação, o cabo hidráulico geralmente compreende pelo menos uma linha hidráulica, um cabo elétrico geralmente compreende pelo menos uma linha elétrica e um cabo de fibra óptica geralmente compreende pelo menos uma linha de fibra óptica (normalmente uma fibra óptica).

[0018] Partes da presente divulgação são direcionadas a um sistema para orientação magnética através de uma parede de metal de um dispositivo que está disposto em um lado da parede de metal. O sistema pode compreender:

- um dispositivo adaptado para ser disposto em um lado da parede de metal; e
- um elemento de permeabilidade magnética, fornecida em, perto ou ligado ao dispositivo, que compreende um material que tem uma permeabilidade magnética relativa (μ_r) de pelo menos 2.000.

[0019] Especificamente, a invenção pode se referir a um sistema de

cabo magneticamente detectável, em que o dispositivo pode ser um cabo com o elemento de permeabilidade magnética configurado ao longo de um comprimento do referido cabo. Tipicamente, um cabo pode compreender um corpo de cabo alongado que define uma direção de comprimento e uma linha funcional (como uma linha hidráulica, elétrica ou óptica) configurada ao longo do comprimento do corpo alongado. O elemento de permeabilidade magnética é configurado e/ou distribuído ao longo de um intervalo do corpo alongado na direção do comprimento.

[0020] A permeabilidade magnética relativa μ_r do material do elemento de permeabilidade magnética é de preferência mais elevada do que a do material da parede do metal. A permeabilidade magnética relativa μ_r do material do elemento de permeabilidade magnética pode adequadamente ser de pelo menos 20 vezes mais elevadas do que a permeabilidade magnética relativa do material de parede do metal. Com isso, um contraste significativo pode ser alcançado entre a detectabilidade magnética do elemento de permeabilidade magnética contra a permeabilidade magnética de fundo da parede metálica, sem a necessidade de quantidades excessivas de massa do elemento de permeabilidade magnética.

[0021] Adequadamente, o material do elemento de permeabilidade magnética pode ter uma relação de contraste EM de, pelo menos, $20/\mu\Omega\cdot\text{cm}$, em que o contraste EM é definido como $\mu_r\cdot\sigma$ em que σ é a condutividade específica do material. Geralmente, isso corresponde a μ_r/ρ em que ρ é a resistividade do material. De preferência, o material tem uma razão de contraste EM de pelo menos $50/\mu\Omega\cdot\text{cm}$.

[0022] O contraste entre a detectabilidade magnética do elemento de permeabilidade magnética e a parede metálica também é afetado pelas massas de cada elemento de permeabilidade magnética e a parede metálica que são sondadas em uma determinada área de amostragem. Uma razão alvo-fundo de massa indutiva equivalente (EIm) é preferencialmente selecionada para

exceder 5. Mais preferencialmente, a razão alvo-fundo é selecionada para exceder 15. O termo "razão alvo-fundo", conforme aqui utilizado, significa razão de EIm do elemento de permeabilidade magnética sobre o EIm da parede de metal na mesma área que é coberta pelo elemento de permeabilidade magnética. EIm é definido como $\mu_r \cdot \sigma$.

[0023] A parede de metal pode ser a parede de um tubular furo de poço. O dispositivo pode compreender adequadamente uma fibra óptica. O material pode ser selecionado do grupo de: mu-metal, permalloy e aço elétrico não orientado. O material pode preferencialmente ter uma permeabilidade magnética relativa de pelo menos 8.000, mais preferencialmente de pelo menos 4.000 e ainda mais preferencialmente de pelo menos 20.000. O material pode ter uma resistividade de pelo menos $30 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ou, alternativamente, o material pode ter uma resistividade de pelo menos $37 \mu\Omega \cdot \text{cm}$.

[0024] O elemento de permeabilidade magnética pode ser fornecido como uma tira que se estende ao longo de pelo menos parte do comprimento do cabo. Aqui, o dispositivo pode ser, ou compreender, uma fibra óptica. A tira pode ser adequadamente colada ao dispositivo, como o cabo, ou mantida no lugar por outros meios, como por exemplo, fita adesiva. Adequadamente, a tira é ensanduichada entre o cabo e a parede de metal. Desta forma, o elemento de permeabilidade magnética pode ser protegido pelo cabo contra a exposição a impacto mecânico externo, como atrito ao executar um tubular de furo de poço, no qual o cabo está disposto, em um furo de poço.

[0025] De acordo com outro aspecto, a divulgação fornece o uso de um sistema para fornecer informações através de uma parede de metal, o uso compreendendo:

- organizar um dispositivo em um lado da parede de metal,
- organizar um elemento de permeabilidade magnética no, próximo a ou conectado ao dispositivo, o elemento de permeabilidade

magnética compreendendo um material como definido acima.

[0026] O uso pode compreender uma etapa de ativação de uma ferramenta de orientação magnética em um lado oposto da parede de metal para localizar o elemento de permeabilidade magnética no referido lado da parede de metal. O uso pode compreender uma etapa de otimizar o elemento de permeabilidade magnética usando massa indutiva equivalente (EIm). O uso pode compreender a etapa de otimizar o elemento de permeabilidade magnética, em que a razão alvo-fundo é selecionada para exceder 5. De preferência, a razão alvo-fundo é selecionada para exceder 15.

[0027] A presente divulgação também pode fornecer um sistema e método para projetar e construir contraste eletromagnético em poços de óleo e gás para transferência seletiva de energia e comunicação através de uma parede de metal. A comunicação neste documento pode se referir à localização de um dispositivo através da parede de metal para perfuração orientada da parede sem danificar o dispositivo ou a outros tipos de comunicação. Parede aqui pode se referir, por exemplo, à parede de um casing de aço em um furo de poço.

[0028] Ao selecionar materiais para componentes de interior de poço, as principais considerações são: vida útil mecânica de longo prazo, resistência ao ambiente de interior de poço e baixo custo. Propriedades de materiais como suscetibilidade magnética e condutividade elétrica são geralmente ignoradas em aplicações convencionais. A Tabela 1 abaixo lista a permeabilidade magnética relativa e a resistividade dos materiais normalmente usados em aplicações convencionais em campos de petróleo:

Material	Permeabilidade Magnética Relativa μ_r (a 20 °C)	Resistividade ρ ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) (a 20 °C)	Contraste EM μ_r/ρ ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) ⁻¹
Aço de Baixo Carbono	100	16	6,25
Aço Inoxidável Austenítico 316, 316L, 304	1,02	29,4	0,035
Aço martensítico SS (410) recozido e endurecido	75 a 800	30 a 56	2,5 a 27

TABELA 1

[0029] A permeabilidade magnética relativa (μ_r) de um material específico é a permeabilidade magnética do que o material expresso em quantidades de permeabilidade do espaço livre (μ_0), em que $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$. Sendo assim, a permeabilidade magnética relativa é um fator de multiplicação adimensional.

[0030] Ao transferir indutivamente a energia ou se comunicar através desses materiais, a força do sinal que passa através do material depende da razão entre a permeabilidade magnética e a resistividade. Tradicionalmente, não tem havido esforço em aplicações de interior de poço para alterar a seleção do material, a fim de criar um contraste eletromagnético (EM) utilizando a relação de permeabilidade relativa e resistividade magnética (μ_r/ρ) para que as unidades correspondam a $[\rho^{-1}]$. A presente revelação utiliza $\mu\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $/\mu\Omega\cdot\text{cm}$ e $(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ que todos são intercambiáveis e significam a mesma coisa.

[0031] A noção geral no campo de aplicações de óleo e gás era que, mesmo que houvesse algum efeito, o efeito seria insignificante em relação às quantidades significativas de metal (normalmente aço) já existentes no poço, como casing e ferramentas. Aqui, observe que, por exemplo, o cabo de fibra óptica reforçado com aço normalmente tem espessura e largura da ordem de 0,125 "x 0,5" (0,32 cm x 1,27 cm), enquanto um casing ou liner típico (com qualidades de aço como C90, P110 ou Q125) tem uma espessura de parede da ordem de 0,5" (1,27 cm) até 1" (2,54 cm). Ou seja, a espessura do cabo e o reforço metálico do mesmo são relativamente pequenos em relação à espessura típica da parede da tubulação (por exemplo, com um fator de 1:4 até 1:8 ou mais). Especialmente em profundidades e pressões crescentes, a parede do casing ou liner deve ser mais espessa e mais forte. Assim, em poços mais profundos e/ou poços de alta pressão, a relação entre o reforço de metal do cabo e a espessura da parede do casing geralmente aumentará ainda mais.

[0032] É um desafio diferenciar com precisão o sinal de barras finas, por exemplo, com cerca de 0,125 pol. (3 mm) de espessura, da linha de base quando a massa de metal do casing aumenta. Esse último é típico, por exemplo, para casings de diâmetro maior, poços de alta pressão e/ou para aplicações em águas profundas com requisitos rigorosos de segurança.

[0033] A Tabela 2 mostra a razão da massa de metal nas tiras de reforço (alvo) e a massa do casing (fundo) como proxy da relação sinal/fundo que pode ser detectada com precisão usando uma ferramenta de orientação magnética, quando as tiras são feitas de aço típico (por exemplo, um material listado na Tabela 1).

	Espessura das tiras de metal	
	0,5" (1,27 cm)	0,75" (1,9 cm)
Casing de 5,5" (13,97 cm) (γ)	0,33	0,49
Casing de 7" (17,78 cm) (γ)	0,25	0,38
Casing de 5,5" (13,97 cm) (ϵ)	1,30	1,95
Casing de 7" (17,78 cm) (ϵ)	1,00	1,50

TABELA 2

[0034] Aqui, γ é a razão entre a massa da barra de metal (ver, por exemplo, a tira 11 na Figura 2) versus a massa do casing ao longo da largura da barra. A Tabela 2 inclui valores em que o casing e as barras de metal são feitas de aço típico para aplicações em campos de óleo, conforme exemplificado na Tabela 1. Valores para γ abaixo de 0,4 são, na prática, baixos demais para garantir a precisão adequada.

[0035] A detecção das barras de metal adicionadas se torna ainda mais desafiadora, considerando o fato de que a espessura da parede do casing típica pode ter até cerca de -12,5% de tolerância e ainda assim ser aceitável sob as especificações API 5CT. A mesma especificação API também prescreve que o casing deve ter um determinado peso por unidade de comprimento (normalmente expresso em libras por pé). Em combinação com o peso definido por unidade de comprimento, o limite de tolerância implica que uma parte da parede do casing – por exemplo, denominada lado da parede fina - pode ter até 12,5% menos material do que outro lado – o que pode ser

denominado como lado da parede pesada. Ou seja, o lado da parede fina do casing é mais leve, ou seja, compreende menos massa de metal do que o lado da espessura da parede normal (que é mais pesado como resultado). Portanto, se a barra de metal do cabo óptico cair no lado da parede fina do casing, seu sinal pode ser mascarado pela anomalia aceitável inerente na espessura da parede do casing (de acordo com os padrões API, como 5CT). Em outras palavras, na pior das hipóteses em que o cabo cai no lado da parede fina, o sinal do cabo pode ser da mesma ordem ou menor que o sinal de fundo da massa metálica do casing, em particular da parede pesada lado, levando a falsos positivos. Este último pode resultar na perfuração do cabo.

[0036] As duas últimas linhas da Tabela 2 mostram a razão entre o deslocamento máximo aceitável possível na massa da casing e a massa da barra de metal. Por exemplo, para um casing típico de 7" (18 cm) de diâmetro externo, a massa da barra de metal com 0,5" (1,27 cm) de espessura é aproximadamente igual ao erro máximo possível na massa do casing sobre a circunferência do tubular. Aqui, ϵ é a razão entre a massa da barra de metal e a tolerância na massa do casing (acima da largura da barra). A Tabela 2 inclui valores para uma situação em que o casing e as barras de metal são feitas de aço típico para aplicações em campos de óleo, conforme exemplificado na Tabela 1. Aqui, valores de ϵ na faixa de 1,5 e inferior indicam que as tolerâncias na espessura da parede do casing podem levar a falsos positivos nas medições de orientação.

[0037] Ao contrário da noção geral da indústria, conforme descrito acima, o requerente concluiu que a adição de contraste eletromagnético, por exemplo ao cabo de fibra óptica reforçado, tem um efeito muito mais forte e mais pronunciado do que o esperado. Tanto é assim que a precisão é melhorada significativamente. Além disso, outras aplicações, como comunicação entre paredes de aço em poços de óleo e gás, são ativadas devido ao uso de materiais que fornecem contraste EM suficiente. Esse efeito

é mais forte, os resultados são mais pronunciados e a precisão da detecção da orientação azimutal via casing aumenta com o aumento do contraste EM.

[0038] Ao adicionar ligas especiais listadas na Tabela 3, é possível criar um contraste radial, também aqui referido como 'contraste eletromagnético'. A Tabela 3 abaixo mostra exemplos de materiais adequados para aplicações de acordo com a presente divulgação, tendo propriedades eletromagnéticas (EM) que podem gerar um contraste EM relativamente alto:

Material	Permeabilidade Magnética Relativa μ_r	Resistividade ρ ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) (a 20 °C)	Contraste EM (μ_r/ρ) ($\mu\Omega\cdot\text{cm})^{-1}$
Mu-Metal	20.000 a 100.000, esp. 80.000 a 100.000	47	425 a 2.125
Permalloy	8.000	30	267
Aço elétrico não orientado	8.000 a 16.000	37 a 50	160 a 432

TABELA 3

[0039] Aqui, são realizados testes magnéticos em amostras especificadas pelo método A da ASTM A 343. Os dados representam valores típicos.

[0040] A presente divulgação propõe o uso de um material que fornece um contraste eletromagnético aumentado em relação aos materiais de poço convencionais para as aplicações descritas acima. Nisto, um limiar inferior do contraste EM (μ_r/ρ) para o material escolhido pode ser selecionado a cerca de $50/\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ou da ordem de cerca de $100/\mu\Omega\cdot\text{cm}$. À medida que a precisão melhora com o aumento do contraste EM, em uma modalidade preferida, um limiar mais baixo para o valor de contraste EM é, por exemplo, cerca de $150/\mu\Omega\cdot\text{cm}$ a $200/\mu\Omega\cdot\text{cm}$. Assim, um contraste EM relativamente alto pode se referir a materiais que fornecem contraste EM excedendo os limiares inferiores mencionados acima.

[0041] Como um limiar alternativo, a permeabilidade magnética relativa pode indicar adequação para uso de acordo com um sistema ou método da presente divulgação. Aqui, o material adequado para a presente invenção pode ter uma permeabilidade magnética relativa (μ_r) de pelo menos

2.000. Preferivelmente, a permeabilidade magnética relativa (μ_r) é de pelo menos 4.000. Mais preferivelmente, os materiais adequados para a presente invenção podem ter uma permeabilidade magnética relativa (μ_r) de pelo menos 8.000.

[0042] Nas unidades SI, a permeabilidade magnética é medida em Henries por metro (H/m ou $\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$), ou equivalente em newtons por ampère ao quadrado ($\text{N}\cdot\text{A}^{-2}$). A constante de permeabilidade (μ_0), também conhecida como constante magnética ou permeabilidade do espaço livre, é uma medida da quantidade de resistência encontrada ao formar um campo magnético no vácuo clássico. A constante magnética tem o valor exato (definido) ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1} \approx 1,2566370614 \times 10^{-6} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$ ou $\text{N}\cdot\text{A}^{-2}$). A permeabilidade relativa (μ_r) é a razão entre a permeabilidade μ de uma forma específica (tal como os materiais listados nas Tabelas 1 e 2) e a permeabilidade do espaço livre μ_0 : $\mu_r = \mu / \mu_0$.

[0043] Além disso, as propriedades dos materiais exemplificadas na Tabela 3 podem ser usadas para descrever materiais adequados. Por exemplo:

- Mu-metal é uma liga magnética macia níquel-ferro com elevada permeabilidade. Tem várias composições. O teor de níquel pode, por exemplo, estar na faixa de 70 a 85%. Uma dessas composições é de aproximadamente 77% de níquel, 16% de ferro, 5% de cobre e 2% de cromo ou molibdênio. Mais recentemente, o mu-metal é considerado ASTM A753 Alloy 4 e é composto por aproximadamente 80% de níquel, 5% de molibdênio, pequenas quantidades de vários outros elementos, como o silício, e os restantes 12 a 15% de ferro. Várias formulações proprietárias diferentes da liga são vendidas sob nomes comerciais como MuMETAL, Mumetall e Mumetal2.

[0044] Amumetal™ é outra opção, comparável ao mu-metal. Amumetal, fabricado pela empresa Amuneal, é uma liga de níquel-ferro com alto teor de níquel - por exemplo, cerca de 80% - e teor relativamente

moderado de molibdênio - por exemplo, cerca de 4,5% - e ferro. Esta liga está em conformidade com as especificações internacionais prescritas nas normas ASTM A753, DIN 17405, IEC 404 e JIS C2531.

[0045] - Permalloy é uma liga magnética de níquel-ferro. Inventado em 1914 pelo físico Gustav Elmen no Bell Telephone Laboratories, a mesma é notável por sua permeabilidade magnética muito alta, tendo uma permeabilidade relativa de até cerca de 100.000. Permalloy pode compreender na faixa de cerca de 40 a 85% de níquel. Outras composições de permalloy estão disponíveis, designadas por um prefixo numérico que indica a porcentagem de níquel na liga. Por exemplo, "45 permalloy" significa uma liga contendo 45% de níquel e 55% de ferro. "Molybdenum permalloy" é uma liga de 81% de níquel, 17% de ferro e 2% de molibdênio (inventado no Bell Labs em 1940). O supermalloy, a 79% Ni, 16% Fe e 5% Mo, também é conhecido por seu alto desempenho como um material magnético "macio", caracterizado por alta permeabilidade e baixa coercividade.

[0046] - O aço elétrico (aço de laminação, aço elétrico de silício, aço silício, aço de relé, aço de transformador) é um aço especial adaptado para produzir propriedades magnéticas específicas: pequena área de histerese resultando em baixa perda de energia por ciclo, baixa perda de núcleo e alta permeabilidade. O aço elétrico é uma liga de ferro que pode ter de zero a 6,5% de silício (Si:5Fe). As ligas comerciais geralmente têm teor de silício de até 3,2%. O manganês e o alumínio podem ser adicionados até 0,5%. Aqui, o teor pode ser expresso em porcentagem em volume. O silício aumenta significativamente a resistividade elétrica do aço, o que diminui as correntes parasitas induzidas e estreita o ciclo de histerese do material, diminuindo a perda do núcleo. Os níveis de concentração de carbono, enxofre, oxigênio e nitrogênio são normalmente mantidos baixos, pois esses elementos podem indicar a presença de carbonetos, sulfetos, óxidos e nitretos. O nível de carbono é normalmente mantido em 0,005% ou menos.

[0047] - Sendust é um pó metálico magnético que foi inventado por Hakaru Masumoto na Universidade Imperial Tohoku em Sendai, Japão, por volta de 1936 como uma alternativa ao permalloy em aplicações de indutores para redes telefônicas. A composição de Sendust é tipicamente 85% de ferro, 9% de silício e 6% de alumínio. O pó é sinterizado em núcleos para fabricar indutores. Os núcleos Sendust têm alta permeabilidade magnética (até 140.000), baixa perda, baixa coercividade (5 A/m), boa estabilidade de temperatura e densidade de fluxo de saturação de até 1 T.

[0048] - Supermalloy é uma liga composta de níquel (75%), ferro (20%) e molibdênio (5%). O mesmo é um material magneticamente macio. A resistividade da liga é de $0,6 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (ou $6,0 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$). O mesmo possui uma permeabilidade magnética extremamente alta (aproximadamente 800.000 N/A²) e uma baixa coercividade.

[0049] - Outros materiais com propriedades magnéticas apropriadas, tendo propriedades magnéticas semelhantes a mu-metal, incluem o Co-Netic, supermumetal, nilomag, sanbold, molybdenum permalloy, M-1040, Hipernom e HyMu-80.

[0050] Os materiais de acordo com a presente divulgação podem ser usados para melhorar estruturas convencionais para qualquer uma das aplicações de interior de poço exemplificadas acima. Por exemplo, um dos métodos para implantar permanentemente fibra óptica em um furo de poço inclui unir e/ou prender um conjunto de um cabo de fibra óptica especializado (por exemplo, fibra encapsulada em tubulação (TEF) e TEF revestido com polímero) e um ou dois cabos de aço com 1/2" (1,27 cm) de diâmetro no casing, à medida que o mesmo é inserido no furo e cimentando o conjunto no lugar. Aqui, um ou mais cabos de aço compreenderão, ou serão feitos inteiramente de, material que proporciona maior contraste EM de acordo com a presente divulgação. Assim, o cabo seria localizável com a ferramenta de localização magnética para permitir a perfuração orientada do casing sem

danificar o cabo.

[0051] Em uma modalidade aprimorada, um cabo de perfil baixo (LPC) simplifica esse método de implantação permanente, encapsulando o cabo de fibra óptica e a proteção do cabo em um cabo plano. Os cabos de 1/2" (1,27 cm) de diâmetro são substituídos por barras de aço mais finas (1/8" (3 mm)) que fornecem melhor resistência ao esmagamento. A espessura geral do cabo encapsulado (perfil) pode ser cerca de metade do conjunto de implantação de cabo de aço-TEF e, portanto, não é necessário um tamanho maior do furo de poço. Descrições de LPC são fornecidas nos documentos números US2016/0290835 e US2015/0041117, cujas divulgações são aqui incorporadas por referência.

[0052] A Figura 1 mostra uma vista em perspectiva de um sistema de cabo de fibra óptica 10 montado em um elemento tubular 20. O elemento tubular compreende uma parede cilíndrica 25 que se estende em torno de um eixo central A, que é paralelo a uma direção longitudinal. A parede cilíndrica 25, vista em seção transversal, tem uma circunferência circular tendo uma superfície de parede direcionada para fora convexa 29. O sistema de cabo de fibra óptica 10 é um cabo de fibra óptica totalmente encapsulado que se estende na direção longitudinal.

[0053] O elemento tubular 20 pode ser implantado dentro de um poço 3 perfurado em uma formação de terra 5. O elemento tubular 20 pode ser (parte de) qualquer tipo de poço tubular, incluindo, por exemplo, mas não se limitando a: casing, tubulação de produção, revestimento, forro, tubulação espiralada ou similar. O elemento tubular 20 pode ser qualquer estrutura tubular ou outra que se destina a permanecer no poço 3 durante a duração do uso do sistema de cabo de fibra óptica 10 como sensor FO. O elemento tubular 20, juntamente com o sistema de cabo de fibra óptica 10, pode ser cimentado no lugar.

[0054] Dois exemplos do sistema de cabo de fibra óptica 10 são

ilustrados nas Figuras 2 e 3. Essas Figuras fornecem vistas em corte transversal em um plano que é perpendicular à direção longitudinal.

[0055] Começando com a Figura 2, o sistema de cabo de fibra óptica 10 compreende (por exemplo) duas tiras de metal alongadas 11 e (pelo menos) um cabo de fibra óptica 15 disposto entre as tiras de metal alongadas 11. O cabo de fibra óptica 15 e as tiras de metal alongadas 11 se estendem paralelamente uma à outra na direção longitudinal (perpendicular ao plano de visão). As tiras de metal alongadas 11 e o cabo de fibra óptica são juntos encapsulados em um encapsulamento 18, formando assim um cabo de fibra óptica encapsulado que se estende na direção longitudinal. Na modalidade da Figura 2, o cabo de fibra óptica 15 e as tiras de metal alongadas 11 são totalmente cercadas pelo encapsulamento 18.

[0056] A Figura 3 mostra um grupo alternativo de modalidades, em que o cabo de fibra óptica encapsulado compreende um primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47 que é fornecida dentro do encapsulamento. O primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47 se estende ao longo da direção longitudinal. As fibras ópticas 16 podem ser dispostas dentro do primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47.

[0057] De acordo com um método concebido para produzir o sistema de cabo de fibra óptica de acordo com o grupo alternativo de modalidades ilustrado na Figura 3, o encapsulamento tendo pelo menos o primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47 e as tiras de metal alongadas 11 no mesmo podem ser primeiro produzidas e entregue como um produto intermediário sem fibras ópticas. Este produto intermediário pode subsequentemente ser concluído inserindo a(s) fibra(s) óptica(s) 16 no primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47. Isso pode ser feito após a montagem do produto intermediário no elemento tubular 20 e/ou após a inserção do produto intermediário no poço 3 (com ou sem montagem em qualquer elemento tubular).

[0058] Uma maneira adequada de inserir as fibras ópticas 16 no primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47 é bombear uma ou mais das fibras ópticas 16 através do primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47.

[0059] Adequadamente, o primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47 pode ser uma linha capilar hidráulica, adequadamente formada a partir de um tubo capilar hidráulico. Tais tubos capilares hidráulicos são suficientemente resistentes à pressão para conter um fluido hidráulico. Sabe-se que esses tubos capilares hidráulicos são utilizados como linhas de controle hidráulico para uma variedade de finalidades quando implantados em um poço tubular em um poço. Eles podem, por exemplo, ser usados para transmitir energia hidráulica para abrir e/ou fechar válvulas ou mangas ou para operar dispositivos de interior de poço específicos. Eles também podem ser empregados para monitorar pressões de interior de poço, caso em que podem ser referidos como sensor de pressão capilar. Esse tubo capilar hidráulico é particularmente adequado caso as fibras ópticas 16 sejam bombeadas através da tubulação hidráulica.

[0060] As modalidades preferidas compreendem um segundo comprimento da tubulação hidráulica 49 dentro do encapsulamento, além do primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47. O material a partir do qual é feito o segundo comprimento da tubulação hidráulica 49 e/ou as especificações para o segundo comprimento da tubulação hidráulica 49, podem ser idênticos aos do primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47. O segundo comprimento da tubulação hidráulica 49 se estende adequadamente paralelamente ao primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47.

[0061] Adequadamente, como esquematicamente ilustrado na Figura 4, o sistema de cabo de fibra óptica 10 com primeiro e segundo comprimentos de tubulação hidráulica pode compreender ainda uma peça de retorno em U da tubulação hidráulica 40. A peça de retorno em U da tubulação hidráulica

40 é configurada adequadamente em uma extremidade distal 50 do cabo de fibra óptica encapsulado 10 e pode funcionar para criar uma pressão contendo conexão de fluido entre o primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47 e o segundo comprimento da tubulação hidráulica 49. Quando o sistema de cabo de fibra óptica 10 é inserido em um furo de poço, como esquematicamente representado na Figura 1, a extremidade distal 50 do sistema de cabo de fibra óptica 10 adequadamente é a extremidade que está dentro do poço 3 e mais distante da superfície do terra na qual o poço 3 foi perfurado. Adequadamente, os conectores 45 são configurados entre o primeiro comprimento da tubulação hidráulica 47 e o segundo comprimento da tubulação hidráulica 49 e as extremidades respectivas da peça de retorno em U da tubulação hidráulica 40. Uma maneira pela qual a peça de retorno em U da tubulação hidráulica 40 pode ser usada é fornecer um circuito hidráulico contínuo com uma entrada de fluido de pressão e saída de linha de retorno em uma única extremidade do sistema de cabo de fibra óptica 10. Essa extremidade única pode ser chamada de extremidade proximal. As modalidades preferidas facilitam o bombeamento de fibra(s) óptica(s) 16 no fundo da superfície da terra, mesmo se o poço já tiver sido completado e perfurado.

[0062] Também foram contemplados mais de dois comprimentos de tubulação hidráulica em um único encapsulamento.

[0063] A parte a seguir da divulgação refere-se ao assunto que pode ser aplicado tanto ao grupo de modalidades representado pela Figura 2, quanto ao outro grupo de modalidades representado pela Figura 3. Os números de referência foram empregados nas duas Figuras.

[0064] O material do qual é feito o encapsulamento 18 é adequadamente um material termoplástico. De preferência, o material é um material termoplástico resistente à erosão.

[0065] Visto na referida seção transversal, o encapsulamento 18 tem

contorno externo 17 e contorno interno 19. De preferência, o mesmo é uma seção circular interna côncava do contorno 19 e uma seção de contorno circular convexa do exterior 17, para coincidir com a parede 25 do tubular 20. Aqui as uma ou mais tiras de metal alongadas 11 e o pelo menos um cabo de fibra óptica 15 estão posicionados entre a seção de contorno interna côncava circular 19 e a seção de contorno externa convexa circular 17. Quando montada no elemento tubular 20, a seção de contorno interna côncava circular 19 adequadamente possui um raio de curvatura que está em conformidade com a superfície da parede direcionada para fora convexa 29 do elemento tubular 20.

[0066] O cabo de fibra óptica 15 compreende tipicamente uma ou mais fibras ópticas 16, que podem ser empregadas como fibras sensoras. As fibras ópticas 16 podem se estender retas na direção longitudinal ou estar dispostas em uma configuração não reta, como uma configuração enrolada helicoidalmente em torno de um núcleo que se estende longitudinalmente. São contempladas combinações dessas configurações, em que uma ou mais fibras ópticas 16 são configuradas retas e uma ou mais fibras ópticas são configuradas não retas.

[0067] As tiras de metal alongadas 11 podem ser feitas de metal sólido. Ambas podem ter uma seção transversal retangular. Outras formas de quatro lados também foram contempladas, incluindo paralelogramos e trapézios. Adequadamente, as seções transversais de quatro lados compreendem dois lados curtos 12 e dois lados longos 13, em que as tiras de metal são configuradas dentro do encapsulamento com um lado curto 12 de uma das tiras de metal voltado para um lado curto 12 da outra tira de metal, em que o cabo de fibra óptica 15 está entre esses respectivos lados curtos.

[0068] As tiras 11 compreendem adequadamente um material de acordo com a presente divulgação, proporcionando maior contraste EM, como descrito acima. Alternativamente, as tiras 11 podem ser feitas de material

sólido de alto contraste EM. As tiras podem, por exemplo, ser extrudadas ou formadas por rolo. Adequadamente, para aplicações de poço, os lados curtos medem menos de 6,5 mm, preferencialmente menos de 4 mm, mas mais de 2 mm. Os lados longos são de preferência mais de 4x mais longos que os lados curtos. Adequadamente, os lados longos não são mais do que 7x mais longos que os lados curtos, isso é do interesse do encapsulamento. O diâmetro do cabo FO pode estar entre 2 mm e 6,5 mm, ou preferencialmente entre 2 mm e 4 mm.

[0069] Os lados da forma de quatro lados podem ser, mas não necessariamente são, retos. Por exemplo, um ou mais dos lados podem ser curvos. Por exemplo, é contemplado que um ou ambos os lados longos sejam modelados de acordo com contornos circulares. Um exemplo é ilustrado na Figura 5. Os contornos circulares podem ser mutuamente concêntricos e, se o sistema de cabo de fibra óptica estiver montado em um elemento tubular, os contornos circulares podem ser concêntricos com o contorno da superfície da parede direcionada para o exterior 29. Se o encapsulamento 18 compreender uma seção circular côncava interna do contorno 19 e/ou uma seção circular convexa externa do contorno 17, os contornos circulares das tiras de metal alongadas podem ser concêntricos com a seção circular côncava interna do contorno 19 e/ou a seção circular convexa externa do contorno 17. Modalidades que empregam tiras de metal 11 com lados não retos podem, em todos os outros aspectos, ser idênticas a outras modalidades aqui descritas.

[0070] O sistema de cabo de fibra óptica que compreende o cabo de fibra óptica encapsulado é adequadamente enrolável em torno de um tambor de bobina. Isso facilita a implantação em um local de poço, por exemplo. As tiras de metal 11 podem ser aproveitadas ao perfurar o elemento tubular 20 no qual o sistema de cabo de fibra óptica está montado, pois o azimuth do sistema de cabo de fibra óptica pode ser estabelecido a partir do interior do elemento tubular através da detecção de sinais de fluxo magnético no interior

do elemento tubular. Pistolas perfurantes e dispositivos de orientação magnética estão disponíveis comercialmente no mercado. Um dispositivo de orientação magnética é divulgado, por exemplo, na Patente US 3153277.

[0071] Em uma modalidade alternativa, é possível laminar ligas metálicas de alto contraste eletromagnético, por exemplo, umas nas outras ou em outros materiais. Os laminados podem, por exemplo, melhorar a intensidade do sinal, permitir uma utilização mais eficiente do espaço disponível e/ou minimizar os volumes necessários do material e os custos associados. Isso é possível devido a profundidades de pele de propagação mais baixas para frequências de transmissão comumente usadas nos materiais de alto contraste EM. Modalidades exemplares são descritas abaixo.

[0072] A Figura 6 mostra um sistema de cabo de fibra óptica 10 dotado de pelo menos um cabo de fibra óptica 15. O sistema pode compreender um número de camadas. Uma camada superior 60 pode ser uma camada de proteção e/ou blindagem. A camada superior, por exemplo, compreende fita elétrica, isto é, fita eletricamente condutora. Uma segunda camada 70 pode compreender um material de alto contraste EM de acordo com a divulgação. A segunda camada pode compreender uma camada de material sólido de alto contraste EM. Alternativamente, a segunda camada 70 pode compreender um laminado de duas ou mais, por exemplo, cerca de quatro a seis folhas de material de alto contraste EM laminadas uma sobre a outra. Uma terceira camada ou camada inferior 80 pode compreender uma ligação e/ou material transportador. O material transportador pode compreender um plástico adequado. O plástico pode ser polímero termoplástico, por exemplo plástico ABS (acrilonitrila butadieno estireno). Alternativamente, a camada plástica 80 pode compreender EPDM (borracha de etileno-propileno-dieno-monômero (classe M)). Um material de enchimento 62 pode ser disposto cobrindo o cabo de fibra óptica e preenchendo todos os espaços vazios entre o cabo de fibra óptica e uma das

mais das camadas 60, 70, 80. O material de carga pode compreender carga termoplástica. O cabo 10 tem uma altura H1 e uma largura W1.

[0073] A Figura 7 mostra basicamente um sistema de cabo de fibra óptica 10 semelhante ao cabo 10 da Figura 6, mas tendo uma altura H2 e/ou largura W2 diferentes. A massa da camada 70 de material de alto contraste EM pode variar, tornando a referida camada 70 mais espessa ou mais fina, ou tornando a referida camada mais larga ou menor. Assim, a massa do material de alto contraste EM e do contraste fornecidos podem ser adaptadas e otimizadas dependendo do fundo. O fundo neste documento pode indicar sinais originários da parede tubular, por exemplo, a parede do casing, na qual o cabo 10 será aplicado.

[0074] A Figura 8 mostra um sistema de cabo de fibra óptica 10 semelhante ao cabo 10 da Figura 6, mas tendo uma segunda camada 90 composta de aço elétrico. A camada de aço elétrico 90 é relativamente econômica. A própria camada 90 pode ser um laminado, compreendendo um número de camadas de tira de aço elétrico ou, por exemplo, cerca de 5 a 20 camadas ou lâminas de tira. O cabo 10 da Figura 8 pode ter uma altura H3 e uma largura W3 adequadas. A massa da camada de material de alto contraste EM 90 pode ser variada tornando a referida camada 90 mais espessa ou mais fina, mais larga ou menor, ou alterando o número de tiras. Assim, a massa do material de alto contraste EM e o contraste fornecido podem ser adaptados e otimizados dependendo do sinal de fundo esperado.

[0075] Em uma modalidade prática, adequada para aplicação em tubular típico de poço, a camada 70 pode ter uma largura na ordem de 0,2 a 1 polegada (5 mm a 2,54 cm). Para um casing de 5" a 7" (12,7 a 17,78 cm), a largura pode estar na faixa de, por exemplo, cerca de 0,25 a 0,5 polegada (6 mm a 1,3 cm). A camada 70 pode ter uma espessura na ordem de 0,03 a 0,3 polegadas (0,8 a 8 mm). Para aplicação em um casing de 5 "a 7" (12,7 a 17,78 cm), a espessura pode estar na faixa de, por exemplo, cerca de 1,3 a 2,5 mm

(0,05 a 0,1 polegada). Para aplicação em um casing de 5 "a 7" (12,7 a 17,78 cm), a espessura total H1/H2 do cabo 10 pode estar na faixa de, por exemplo, cerca de 0,15 a 0,25 polegadas (3,5 a 6 mm). A largura total W1/W2 do cabo 10 pode ser da ordem de cerca de 0,3 a 2 polegadas (7,5 mm a 5,5 cm). Para aplicação em um casing de 5 "a 7" (12,7 a 17,78 cm), a largura total W1/W2 do cabo 10 pode estar na faixa de, por exemplo, cerca de 0,5 a 1,25 polegadas (12,5 a 32 mm).

[0076] Em uma modalidade prática, o cabo 10 da Figura 8 pode ter tamanhos semelhantes, ou seja, W3 e H3 podem estar em uma faixa semelhante à indicada em relação aos tamanhos H1/H2 e W1/W2. Diferença é o número de lâminas incluídas nas camadas de alto contraste EM. A camada 90 pode compreender um número maior de lâminas de aço elétrico mais finas, em comparação com a camada 70.

[0077] As Figuras 9 a 14 mostram algumas geometrias de cabos alternativas fornecidas com pelo menos uma camada de alto contraste EM 70. Aqui, a camada de alto contraste EM 70 pode compreender qualquer um dos materiais de alto contraste EM de acordo com a presente divulgação, incluindo qualquer um dos materiais listados na Tabela 3 ou listados acima.

[0078] Existem vários tipos diferentes de cabos ou conjuntos de embalagens planas disponíveis para transportar instrumentação e/ou energia em poços abaixo da superfície. Por exemplo, cabos ESP (bomba elétrica submersível), pacotes de termopar, Flatpack da Halliburton, cabo de fundo permanente e cabo de néon da Schlumberger, Standard TECTM, Pressure TECTM, Digi TECTM, Digi TECTM, Flat TECTM e PermflowR da Perma-Tec, FlatPakTM da CJS, cabo de produto ou cabo de baixo perfil (consulte as Figuras 3 e 5) da Shell, montagem FIMT convencional de cabo de aço (fibra em tubo de metal) etc. O contraste EM pode ser incorporado nesses cabos:

- substituindo-se (pelo menos parcialmente) metais ou adicionando-se metais com elevado contraste EM em várias orientações,

formas, laminação, etc.;

- Criando-se contraste EM no projeto atual adicionando-se laminações (isoladas total ou parcialmente) ou alterando-se o processo de fabricação dos materiais atuais para aumentar a suscetibilidade magnética;

- Alterando-se a metalurgia do TEC (condutor encapsulado em tubulação, “tubing encapsulated conductor”)/TEF (fibra encapsulada em tubulação, “tubing encapsulated fiber”) ou utilização de uma fibra em tubo plástico ou reforço de fibra nua; e

- Criando-se contato direto de material de alto contraste EM com o metal tubular.

[0079] As ferramentas de detecção de EM existentes normalmente não podem localizar ou detectar pequenas variações nos materiais de campos de petróleo existentes quando colocadas entre ou na parte externa de vários tubulares, o que significa que o alvo é severamente mascarado pelo sinal de fundo proveniente da massa de metal dos tubulares.

[0080] Os materiais de alto contraste EM da presente divulgação permitem localizar ferramentas ou cabos entre ou na parte externa de dois ou mais tubulares. Por exemplo, um cabo 10 pode ser dotado de uma massa pré-selecionada 11 de material de alto contraste EM. O referido cabo pode ser disposto entre vários tubulares (Figura 15) ou na parte externa de vários tubulares (Figura 16). Aqui, o tubular 20 pode ser encerrado por um segundo tubular 100 (Figura 15). Alternativamente ou além disso, o tubular 20 pode incluir um terceiro tubular 110 (Figura 16). O uso de material de alto contraste EM de acordo com a presente divulgação, dentro das faixas indicadas (por exemplo, no que diz respeito ao contraste EM, magnetismo relativo e/ou EIm), permite detectar as ferramentas ou cabos mesmo entre ou fora de várias camadas de casing. De acordo com a divulgação, o uso do alto contraste EM permite obter um sinal aprimorado, permitindo detectar o sinal em relação ao fundo do metal tubular, permitindo a detecção e localização

precisa de ferramentas ou cabos.

[0081] Os materiais de alto contraste EM da presente divulgação podem ser usados para fornecer contraste eletromagnético aprimorado e, assim, permitir localizar outros componentes de interior de poço. O conceito de adicionar contraste EM pode, por exemplo, ser aplicado a:

- Localizar maquinário de interior de poço, como por exemplo: guias da haste de bombeio (como nas patentes US4858688, US5115863), centralizadores (como nas patentes US4938299, US5095981, US5247990, US5575333, US6006830), protetores contra explosão de cabos para operações de perfuração e tamponagem (por exemplo fabricados pela Cannon e pela Gulf Coast Downhole Technologies (GCDT)), braçadeiras de juntas intermediárias e de acoplamento cruzado (por exemplo, fabricadas pela Cannon e GCDT), fivelas de bandas e bandas, packers, válvulas de luva deslizante, válvula de elevação de gás, dispositivos de controle de injeção, etc.;

- Criar marcadores de interior de furo poço que possam servir a função de maquinário de interior de poço, por exemplo, guia de haste de bombeio, centralizadores, protetores contra explosão de cabos, braçadeiras de junta média e de acoplamento cruzado, faixas e fivelas;

- Marcadores de interior de poço para determinação de profundidade. Aqui, marcadores de materiais com alto contraste EM são dispostos em intervalos regulares ao longo de um furo de poço. Os marcadores podem ser detectados por uma ferramenta de detecção. Isso permite uma melhor determinação da profundidade através da contagem cumulativa dos respectivos intervalos. Assim, os marcadores também podem ser usados para marcar os furos de poço para localização precisa da profundidade. Os marcadores podem ser dispostos em qualquer local específico ou em intervalos regularmente espaçados ao longo do furo de poço;

- Criar marcadores para juntas 120. Em particular, as juntas

lisas e semilisas 120 da tubulação ou casing (como mostrado na figura 17) podem se beneficiar de marcadores 122 feitos de, ou compreendendo uma massa adequada de, material de alto contraste EM, de acordo com a presente divulgação. Aqui, uma primeira seção de tubo 124 é unida a uma segunda seção de tubo subsequente 126 por, tipicamente, um acoplamento rosqueado 128. O acoplamento rosqueado compreende tipicamente uma seção de pino 130 na extremidade de uma das seções de tubo, por exemplo, a primeira seção de tubo 124 e uma seção de casing na extremidade da outra seção de tubo. O marcador 122 pode ser, por exemplo, um anel ou tira. Os marcadores podem ser dispostos no final da seção do casing 130 entre o início da seção do pino 128 e o final da seção do casing, como mostrado na Figura 17. No entanto, o marcador 122 pode ser disposto em qualquer local adequado na ou perto da seção rosqueada 126, ou ao longo de cada seção de tubo. Para permitir a determinação da profundidade cumulativa, os marcadores são preferencialmente dispostos em intervalos regulares.

[0082] Os marcadores 122 podem fornecer contraste EM suficiente para que a junta 120 possa ser localizada, por exemplo, através de toras de casing (CCL). Na ausência de marcadores, as CCLs são ineficazes no caso de tubos de junção lisa e semilisa devido à falta de aço.

[0083] Os marcadores 122 podem ser feitos de um material de alto contraste EM que é selecionado para se adequar ao metal de cada seção de tubo 124, 126, para impedir ou pelo menos limitar a corrosão galvânica.

[0084] Em uma modalidade, o material de contraste EM pode ser fabricado na forma de uma fita 150. Por exemplo, a folha Mu-Metal disponível no mercado (MuMETAL® Foil) pode ser transformada em uma fita adesiva. A fita 150 pode facilitar a aplicação para localizar vários componentes, como mencionado por exemplo abaixo. A Figura 18 mostra um método de aplicação da fita 150 a uma linha de controle 152 sendo amarrada ao casing 20. Uma ou mais bandas 154 e braçadeiras correspondentes 156

podem ser usadas para conectar a linha de controle ao tubular 20. A fita 150 pode ser enrolada em torno de pelo menos parte da linha de controle, por exemplo, em ou perto de uma região de interesse. A fita 150 pode compreender uma ou mais camadas do material de alto contraste EM como descrito acima, consulte a Tabela 3. A fita pode, por exemplo, compreender uma ou mais camadas de mu-metal. A fita pode ser enrolada em torno da linha de controle à medida que a mesma é enrolada no casing e passada pelo orifício.

[0085] O material de alta permeabilidade magnética, como o material de alto contraste EM, também pode ser empregado em um sistema e método de comunicação através de uma parede de metal. Parede aqui pode se referir a, por exemplo, a parede de um tubular de aço em um furo de poço, como casing. Adequadamente, o material de alta permeabilidade magnética é aplicado no núcleo de uma bobina eletromagnética, a fim de aumentar a indutividade.

[0086] Exemplos de aplicações alternativas do material de alto contraste EM da divulgação podem estar relacionados à transferência de energia, transferência de sinal e comunicações, conforme descrito abaixo:

- As aplicações do material de alto contraste EM da divulgação podem melhorar a transferência de energia, desse modo carregando dispositivos passivos ou recarregáveis alimentados por bateria fixados nos tubulares do poço. Por exemplo, uma baliza orientadora de cabo alimentado por bateria pode ser amarrada na parte externa do casing para detectar a orientação do cabo, conforme descrito na publicação de pré-concessão US2017/082766A1. É possível que, com o material de alto contraste EM, haja seletividade suficiente para carregar a baliza com uma ferramenta de carregamento no poço (como divulgado, por exemplo, no documento US2017/107795A1, por exemplo).

[0087] - As aplicações do material de alto contraste EM da presente

divulgação podem melhorar a transferência de sinal, possibilitando assim acionar uma chave através da parede de metal. Por exemplo, em algumas aplicações, um manômetro de monitoramento de pressão foi acionado em um tubo ou casing em conjunto com uma pistola de perfuração montada externamente e voltada para o exterior, de modo que, quando a pistola é disparada, conecta um túnel de perfuração através do porta-pistolas a um manômetro eletrônico para monitoramento permanente da pressão de formação individual e isolada. O problema com esses sistemas é que a cabeça de disparo da pistola é ativada por pressão com a pressão interna da tubulação e se as vedações do pistão de acionamento falharem, há um caminho de vazamento da pressão de formação para o interior da tubulação. É possível que o contraste EM aprimorado no furo de poço permita a comutação da cabeça de queima, eliminando assim a necessidade de uma porta de pressão e um caminho potencial de vazamento na tubulação.

[0088] - As aplicações do material de alto contraste EM da divulgação podem melhorar a comunicação, tornando possível a atuação e a comunicação com sensores passivos colocados atrás do tubo, incluindo, por exemplo, manômetros, sensores de temperatura e sensores de resistividade.

[0089] Nesta divulgação, adotamos uma abordagem alternativa para personalizar a comunicação e/ou a transferência de energia para e através dos componentes do furo de poço - por exemplo, casing, braçadeiras, faixas, centralizadores, telas, linhas de controle, cordas duplas, flatpacks, termopares, etc. - construindo intencionalmente contraste eletromagnético dentro do poço. O contraste eletromagnético é obtido através da seleção cuidadosa de materiais com diferentes suscetibilidades magnéticas e condutividade elétrica.

[0090] Os benefícios da criação de contraste eletromagnético foram demonstrados alterando a seleção de material no cabo de perfil baixo (LPC) do requerente e detectando-o com precisão em uma casing de grande diâmetro com o DC-MOT (ferramenta de orientação magnética, “magnetic orientation

tool”) da Hunting Energy Services Inc. (Texas, EUA). O cabo LPC normal, que não emprega nenhum material de alta permeabilidade, requer amplo mapeamento com a ferramenta MOT para gerar confiança; a ferramenta de execução de cabo de aço é parada várias vezes a cada junta de tubo, pelo decorrer de várias juntas de tubo, para localizar o cabo e criar um mapa de localização do cabo. A LPC aprimorada de acordo com a presente divulgação melhora muito a precisão, elimina a incerteza na detecção e - na prática - permite operação de "apontar e disparar". Ou seja, a ferramenta de localização é capaz de localizar com precisão o cabo com alta confiança a cada parada. Criar mais contraste eletromagnético usando os materiais da presente divulgação na conclusão subsuperfície permite melhorar a resolução de outras ferramentas semelhantes, como a Wireline Perforating Platform (WPP) da Schlumberger Ltd. ou a Metal Anomaly Tool (MAT) da Guardian Global Technologies Ltd. (oferecido, por exemplo, pela Halliburton).

[0091] Além da operação de 'apontar e disparar', a precisão da detecção usando o sistema e o método da presente divulgação permite aumentar a fase de perfuração. Ou seja, as perfurações não precisam ser de fase 0 (ou seja, direcionadas em direção substancialmente linear), mas podem ser disparadas para cobrir um ângulo radial (em relação à direção radial do casing, ou seja, em um plano perpendicular ao eixo geométrico longitudinal do casing). Devido à precisão da detecção de localização de acordo com a presente divulgação, o ângulo radial pode ser, por exemplo, até cerca de 180° ou até cerca de 270°.

[0092] A presente divulgação permite localizar ferramentas e cabos de interior de poço na parte externa de um tubular metálico com alta precisão, mesmo nos piores cenários (como quando a massa de metal relativamente fina está localizada no lado da parede fina de um casing). Dentro dos limites e intervalos descritos aqui, a precisão pode estar dentro de uma margem de erro de 5 graus ou até 1 grau (radialmente).

[0093] Na divulgação, incluindo cabo aprimorado, uma massa indutiva equivalente (EIm) pode ser calculada, definida como:

$$\text{Massa Indutiva Equivalente (MIE)} = \text{massa } \mu_r \cdot \sigma$$

[0094] No presente documento, μ_r é permeabilidade magnética relativa e σ é condutividade eléctrica (também conhecido como “condutância específica”) do material selecionado. EIm é uma indicação da quantidade de energia induzida e dissipada no metal. Embora a massa (m) seja uma medida direta da quantidade de material (por exemplo, ao longo de uma unidade de comprimento e/ou em um local selecionado), a permeabilidade relativa indica a capacidade do material de concentrar linhas de fluxo magnético através dele, e condutividade refere-se à facilidade do fluxo de corrente no material. A partir de agora, o EIm pode ser usado para selecionar um material e uma quantidade adequados para vários componentes do poço e otimizar o contraste eletromagnético no poço.

[0095] O contraste eletromagnético pode ser expresso na relação sinal/fundo. A relação sinal/fundo pode ser definida como:

$$(EIM)_{\text{dispositivo}} / (EIM)_{\text{Fundo}} = (\text{massa } \mu_r \cdot \sigma)_{\text{dispositivo}} / (\text{massa } \mu_r \cdot \sigma)_{\text{fundo}}$$

[0096] Aqui, a massa do dispositivo e o fundo são calculados sobre a largura do dispositivo ou sua faixa de reforço. Se o dispositivo estiver disposto em relação a um tubular, a massa do dispositivo e o fundo serão determinados em relação a uma seção azimutal, ao longo do ângulo azimutal coberto pelo dispositivo.

[0097] Considera-se que, no caso de perfuração orientada e a localização de um dispositivo, como ferramentas ou cabos, por exemplo, um elemento de permeabilidade magnética (para que o arranjo com o dispositivo seja detectado) que oferece uma razão de alvo para fundo entre zero e 5 pode funcionar com uma precisão baixa ou muito baixa. Uma razão de sinal de alvo para fundo na faixa de 5 a 10 pode ter precisão suficiente para funcionar de forma aceitável, mas pode ter precisão moderada (precisão aceitável) que

ainda exigiria que uma margem de segurança relativamente grande fosse respeitada para localizar as perfurações. Uma razão de sinal de alvo para fundo de 10 e acima, ou mais preferencialmente 15 e acima, resultará em uma detecção muito precisa (como descrito acima, em que a precisão tem uma margem de erro inferior a 5 graus radialmente ou até menos de 1 radialmente) com ferramentas de detecção eletromagnética, como disponíveis atualmente no mercado. A última precisão pode até ser obtida na pior das hipóteses, quando o dispositivo está disposto perto ou no lado fino da parede de um casing.

[0098] O uso do elemento de permeabilidade magnética para aplicações de interior de poço forneceu resultados surpreendentemente bons. Como a parede metálica do casing atuará como uma gaiola de Faraday, era esperado que o uso de material específico de alta permeabilidade magnética relativa tivesse apenas um efeito secundário. Além disso, os materiais de alta permeabilidade magnética relativa têm tipicamente alta permeabilidade, mas tipicamente baixa condutividade elétrica. Na prática, no entanto, como indicado, por exemplo, nos exemplos abaixo, os resultados foram muito bons e permitiram localizar com precisão os dispositivos e o cabo óptico. Mesmo no pior cenário possível, em que o cabo estava disposto no lado da parede fina de um casing relativamente grosso, o cabo podia ser detectado virtualmente sem um erro radial (erro menor que 1 grau radialmente).

[0099] A presente divulgação não está limitada às modalidades conforme descrito acima e às reivindicações anexas. Muitas modificações são concebíveis e recursos de modalidades respectivas podem ser combinados.

[00100] Para facilitar um melhor entendimento da presente invenção, são fornecidos os exemplos a seguir de determinados aspectos de algumas modalidades. De modo algum os exemplos a seguir devem ser lidos de modo a limitar ou definir o escopo da invenção.

EXEMPLOS

[00101] Em um primeiro teste, um Cabo de Perfil Baixo aprimorado (exemplificado na Figura 2 ou 5) com barras relativamente estreitas de Amumetal (mu-metal; com $\mu_r = 80.000$) (0,125" de altura x 0,25" de largura [3,2 mm x 6,4 mm]) foi testado. A intensidade do sinal usando uma ferramenta DC-MOT (Hunting) melhorou significativamente. Com relação a um cabo dotado de barras de metal ou aço (por exemplo, um material listado na Tabela 1), representou pelo menos duas vezes a amplitude e era pelo menos duas vezes mais frequentemente detectado corretamente (medido em contagens). Além disso, o cabo estava localizado com precisão em sua posição azimutal correta, virtualmente dentro de +/- 5° (radialmente) de sua posição atual.

[00102] Em um segundo teste, tiras mais largas de barras Amumetal (0,125 "x 0,5" de largura [3,2 mm x 12,7 mm]) foram usadas, e foi observado um aumento na força do sinal. A margem de erro (dentro de +/- 5° (radialmente) de sua posição atual) foi semelhante. No entanto, a ferramenta MOT conseguiu localizar o cabo mais rapidamente, exigindo menos medições.

[00103] O cabo LPC dotado de reforço de aço regular não foi projetado para aumentar o contraste eletromagnético em relação ao casing e, portanto, as relações sinal/fundo apresentadas na Tabela 2 eram relações simples da respectiva massa.

[00104] A Tabela 4 mostra - como exemplo - a baixa precisão da detecção quando o Cabo 1 - cabo convencional - aterra no lado da parede fina de um tubular de furo de poço. A ferramenta de detecção, neste caso, encontra o cabo, mas com uma margem de erro relativamente alta, por exemplo, a 78 graus da sua verdadeira localização. Um exemplo de detecção de alta precisão usando o cabo dotado de material de alto contraste EM de acordo com a presente divulgação também é mostrado na Tabela 4, como visto ao detectar o Cabo 2, que também é disposto no lado da parede fina do tubular do poço. A

ferramenta de detecção neste caso encontra o cabo em sua verdadeira localização. Ou seja, o cabo dotado de material de alto contraste EM de acordo com a presente divulgação permite reduzir a margem de erro para menos de 5 graus, ou mesmo para menos de 1 grau (radialmente).

Configuração do teste: cabo disposto diametralmente oposto ao lado da parede pesada de um tubo					
Escala: Massa total de metal: cerca de 2.000 a 8.000 contagens					
Ângulo de colocação do cabo verdadeiro = 68 graus					
	Contagem alta	Contagem baixa	Contagens totais	Ângulo relatado	Erro
Cabo 1: LPC estreito	3.549	3.367	182	350	-78
Cabo 2: Mu-Metal de 0,25" (0,635 cm)	4.816	2.385	2.431	68	0

TABELA 4

[00105] A Figura 19 mostra como as contagens no DC-MOT aumentam com o aumento da taxa de alvo-fundo. Para o cabo LPC aprimorado com tiras de mumetal 11 com uma largura de cerca de 0,25" (0,635 cm) (entrada 500) ou 0,5" (1,27 cm) (entrada 502), a razão de alvo e fundo (com base nas proporções dos respectivos valores EIm para o dispositivo a ser detectado e o fundo (como casing) acima da largura do dispositivo, como cabo) é 44 e 89, respectivamente. Isso é significativamente maior que 0,25 (entrada 504) para um cabo convencional dotado de barras de reforço de aço regulares. Como mencionado, a parede de um tubular típico de campo petrolífero de acordo com as especificações da API pode ter uma tolerância na espessura da parede de até -12,5%, potencialmente levando a contagens e um sinal de detecção (falso positivo) do lado da parede pesada (entrada 506 na Figura 19).

[00106] O diagrama da Figura 19 pode ser usado para projetar um cabo específico da aplicação, por exemplo, com base na linha de tendência 510. Em uma modalidade prática, a razão do sinal de alvo para o fundo (com base nas proporções dos valores EIm respectivos para o dispositivo a ser detectado versus o fundo na largura do dispositivo ou no ângulo azimutal coberto pelo dispositivo, se ele estiver disposto em relação a um tubular) indica a precisão

esperada.

[00107] Também foi testada uma alternativa mais barata ao mumetal com características semelhantes - aço elétrico. O cabo 10 na Figura 8 foi montado com barras de aço elétrico ((0,125" x 0,5") 0,31 cm x 1,27 cm) e localizado com precisão (erro abaixo de 5 graus fora radialmente no pior cenário). Embora o aço elétrico tenha menor contraste EM do que o mumetal, o desempenho, em termos de contagens registradas, no DC-MOT foi o mesmo. A precisão pode ser ajustada acima de um limite, semelhante ao mumetal, usando número suficiente de lâminas. Por exemplo, uma barra de aço elétrico montada usando cerca de 9 lâminas forneceu resultados semelhantes aos de um cabo que compreende cerca de duas lâminas feitas de mumetal.

[00108] Essencialmente devido ao efeito de pele, o DC-MOT está apenas examinando pequenas espessuras do material a granel. A profundidade da pele (δ) de interrogação é calculada como:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \sigma \mu_r}}$$

em que f é a frequência de radiação EM, μ_r é permeabilidade magnética relativa e σ é condutividade elétrica.

[00109] Por exemplo, a 60 Hz, a profundidade da pele do mumetal (por exemplo, conforme fornecido pela Amumetal Manufacturing Corp. [EUA]) e aço elétrico é de cerca de 0,006" e 0,018" (0,01524 cm e 0,0457 cm), respectivamente. Enquanto para Amumetal, a profundidade da pele pode ser muito menor que a espessura das lâminas - 0,06" (0,15 cm) - pode ser aproximadamente a mesma que a espessura das lâminas no caso do aço elétrico. Se as lâminas estivessem perfeitamente isoladas, o cabo com aço elétrico teria resultado em uma resposta melhor do que um cabo dotado de uma camada mumetal laminada.

[00110] Embora o descrito acima possa se referir a exemplos específicos de cabos hidráulicos, elétricos ou de fibra óptica, ficará claro para

o especialista que esses tipos de cabos são intercambiáveis no contexto da inclusão do material de alta permeabilidade magnética. O cabo também pode assumir a forma de um cabo combinado, que pode compreender qualquer combinação de vários tipos de linhas, como, por exemplo, linhas elétricas e de fibra óptica ou linhas hidráulicas e de fibra óptica.

[00111] Uma pessoa versada na técnica entenderá que a presente invenção pode ser realizada de muitas maneiras diferentes sem se afastar do escopo das reivindicações anexas.

[00112] Resumindo vários aspectos e modalidades, a presente divulgação descreve ainda um sistema para fornecer informações através de uma parede de metal, o sistema compreendendo um dispositivo adaptado para ser disposto em um lado da parede de metal; e um elemento de permeabilidade magnética, fornecido em, próximo a, ou ligado ao dispositivo, que compreende um material que tem uma permeabilidade magnética μ_r relativa de pelo menos 2.000. O material pode ter uma relação de contraste EM de $20 \mu\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ e acima, em que o contraste EM é definido como μ_r/ρ . O material pode ter uma relação de contraste EM de pelo menos $50 \mu\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$. A parede de metal pode ser a parede de um tubular de furo de poço. O dispositivo pode ser um cabo, como um cabo de fibra óptica. O material pode ter uma permeabilidade magnética relativa de pelo menos 8.000, preferencialmente de pelo menos 20.000; e/ou uma resistividade de pelo menos $30 \mu\Omega\cdot\text{cm}$, preferencialmente de pelo menos $37 \mu\Omega\cdot\text{cm}$. O material pode ser selecionado do grupo de: mu-metal, permalloy e aço elétrico não orientado.

[00113] A presente divulgação descreve adicionalmente um uso desse sistema para fornecer informações através de uma parede de metal. O uso pode compreender a disposição de um dispositivo em um lado da parede de metal; e disposição de um elemento de permeabilidade magnética, perto ou ligado ao dispositivo, o elemento de permeabilidade magnética

compreendendo um material que tem uma permeabilidade magnética μ_r relativa de pelo menos 2.000. O uso pode ainda compreender a ativação de uma ferramenta de orientação magnética em um lado oposto da parede de metal para localizar o elemento de permeabilidade magnética no referido lado da parede de metal. O elemento de permeabilidade magnética pode ser otimizado utilizando massa indutiva equivalente (EIM), EIM sendo definida como massa $\mu_r \cdot \sigma$. Uma taxa EIm de destino para fundo pode ser selecionada para exceder 5. O elemento de permeabilidade magnética deve ser otimizado, em que a razão alvo-fundo é selecionada para exceder 15.

[00114] Finalmente, é resumido que o material de permeabilidade magnética descrito aqui também pode ser empregado para acoplar indutivamente o dispositivo a uma fonte de alimentação. Isso permite que a fonte de alimentação e o dispositivo sejam separados por uma parede de metal. Isso pode ser combinado com uma bateria recarregável dentro do dispositivo que pode ser carregada indutivamente. Isso pode ser empregado, por exemplo, para alimentar sensores compreendidos no dispositivo.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de cabo para uso em interior de poço, caracterizado pelo fato de que compreende:

- um cabo de fibra ótica que compreende uma linha de fibra ótica; e

- um elemento de permeabilidade magnética configurada ao longo de um comprimento do cabo, sendo que o dito elemento de permeabilidade magnética compreende um material que tem uma permeabilidade magnética μ_r relativa de pelo menos 2.000.

2. Sistema de cabo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o material tem uma razão de contraste EM de pelo menos $50 \mu\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$, em que a referida razão de contraste EM é definida como $\mu_r \cdot \sigma$, em que σ é condutividade elétrica.

3. Sistema de cabo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o material tem permeabilidade magnética μ_r relativa de pelo menos 4.000, preferencialmente de pelo menos 8.000.

4. Sistema de cabo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o material é selecionado do grupo que consiste em: mumetal, permalloy e aço elétrico não orientado.

5. Sistema de cabo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o elemento de permeabilidade magnética é fornecido como uma tira que se estende ao longo de pelo menos parte do comprimento do cabo.

6. Sistema de cabo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o elemento de permeabilidade magnética e a linha de fibra ótica são encapsulados em conjunto dentro de um encapsulamento.

7. Sistema de cabo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o elemento de permeabilidade magnética é configurado externamente ao cabo.

8. Sistema de cabo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o cabo e o elemento de permeabilidade magnética são dispostos sobre um lado de uma parede de metal, em que a referida permeabilidade magnética μ_r relativa de, pelo menos, 2.000 excede a permeabilidade magnética relativa da referida parede de metal.

9. Sistema de cabo de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que uma razão de contraste EM do material excede a razão de contraste EM da referida parede de metal, em que a razão de contraste EM é definida como $\mu_r \cdot \sigma$, em que σ é a condutividade elétrica do material, respectivamente a parede metálica.

10. Sistema de cabo de acordo com a reivindicação 8 ou 9, caracterizado pelo fato de que uma razão alvo-fundo de massa indutiva equivalente do cabo em relação à parede de metal excede 5.

11. Sistema de cabo de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 10, caracterizado pelo fato de que a referida parede de metal compreende uma parede de um tubular de furo de poço.

12. Método para perfurar um furo de poço tubular fornecido com um sistema de cabo para uso em interior de poço, caracterizado pelo fato de que compreende:

- fornecer um furo de poço tubular em interior de poço, em que o sistema de cabo como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 11, está disposto em um exterior do referido furo de poço tubular;
- abaixar uma ferramenta de orientação magnética no furo de poço tubular;

- localizar o sistema de cabo através da parede do furo de poço tubular com a ferramenta de orientação magnética;

- subsequentemente perfurar a parede de metal do furo de poço tubular para longe do sistema de cabo.

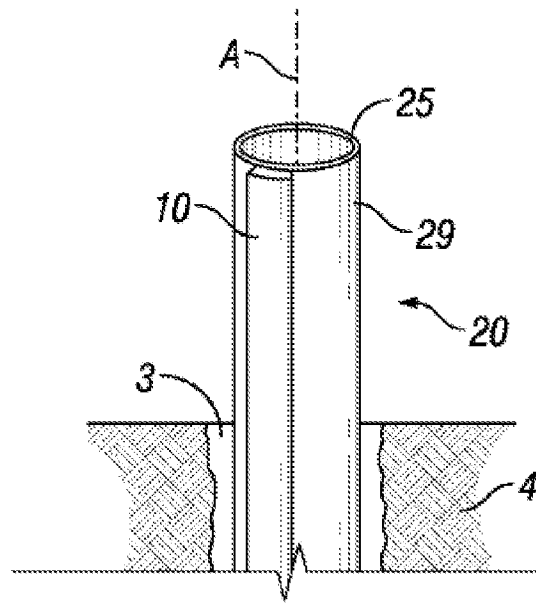


FIG. 1

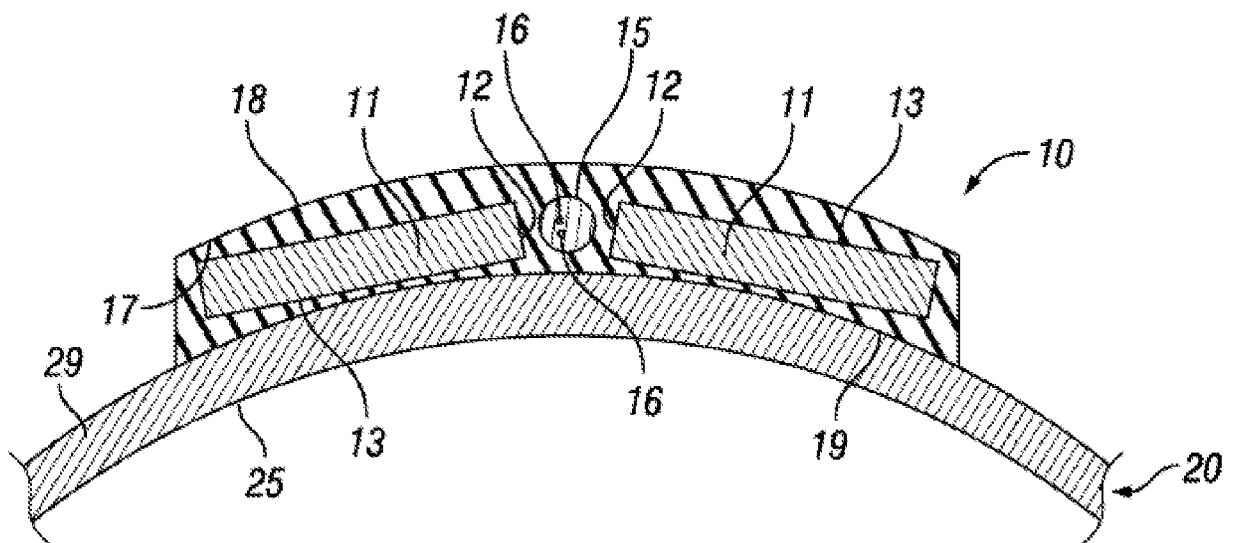


FIG. 2

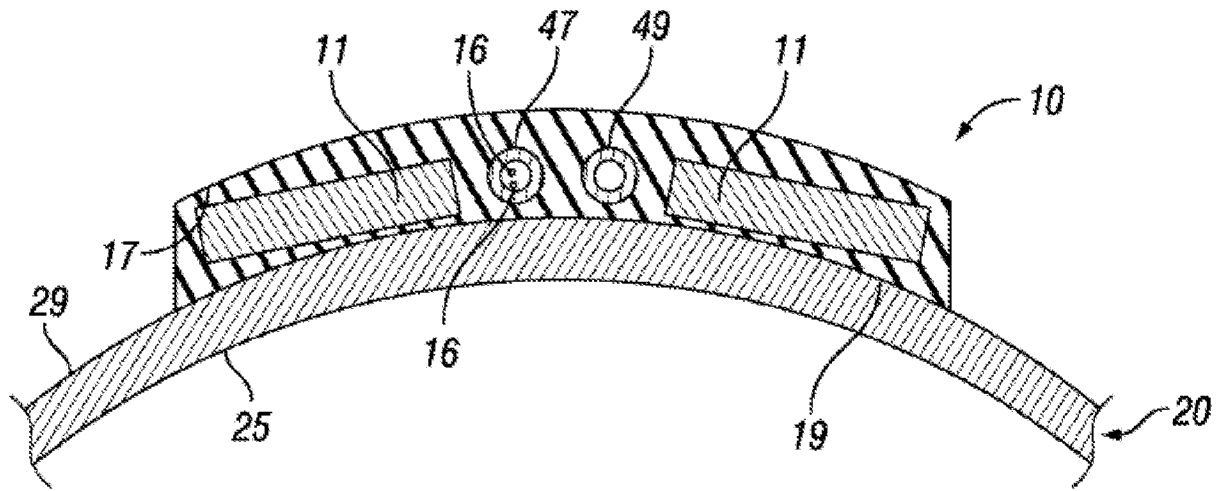


FIG. 3

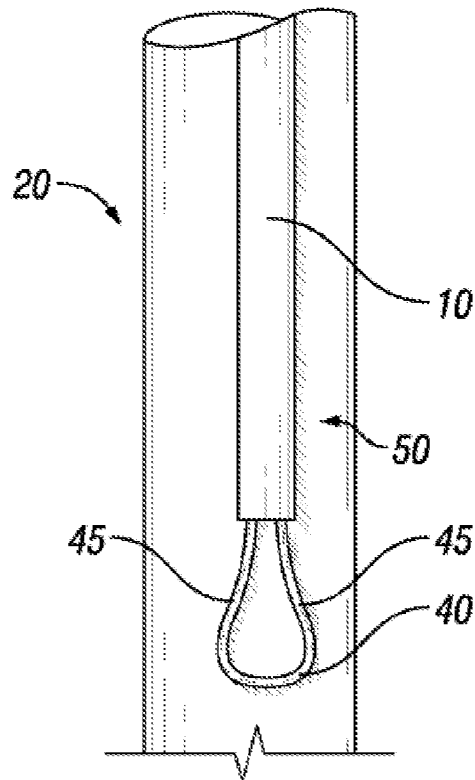


FIG. 4

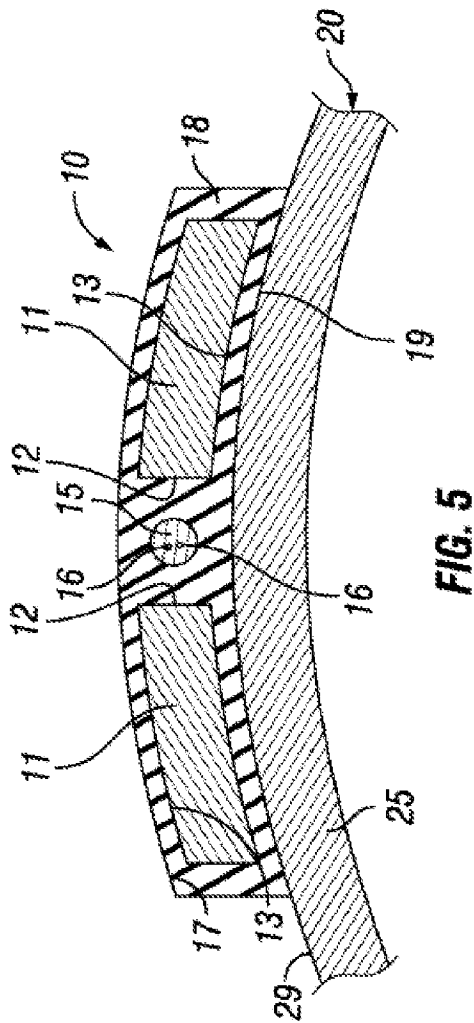


FIG. 5

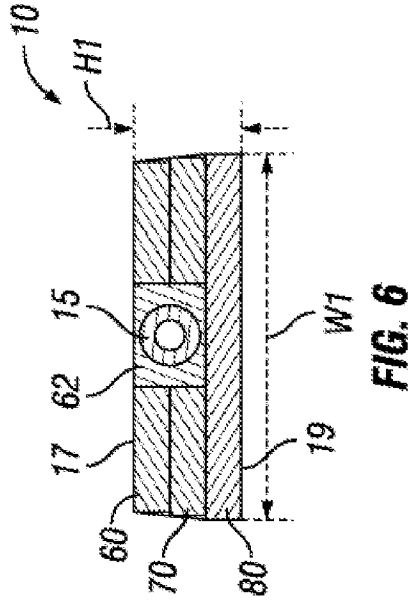


FIG. 6

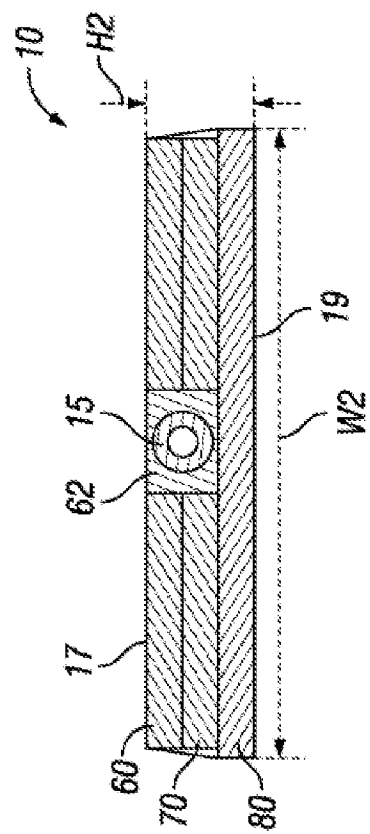


FIG. 7

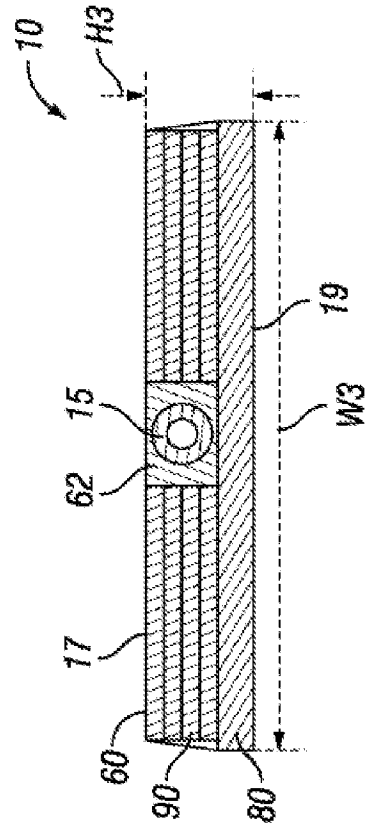


FIG. 8

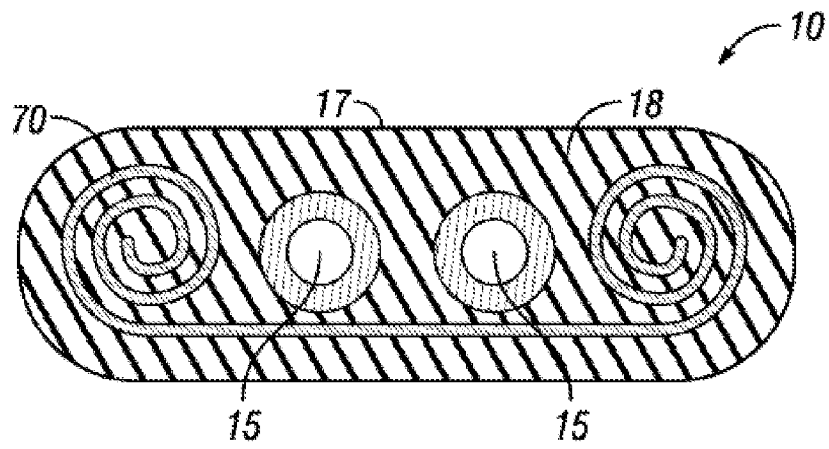


FIG. 9

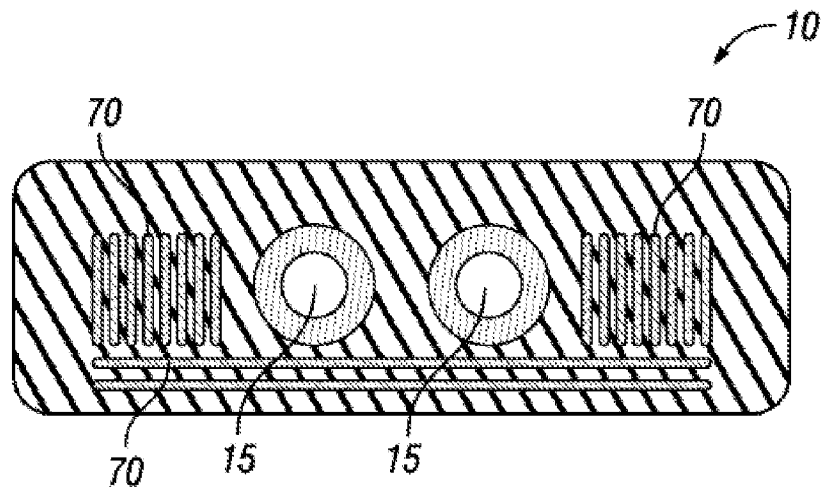


FIG. 10

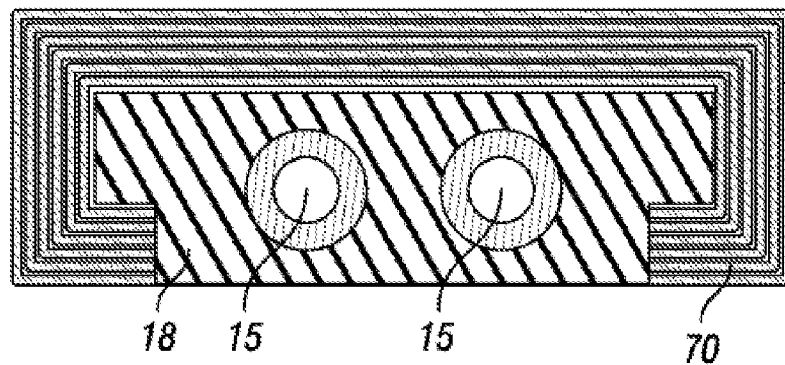
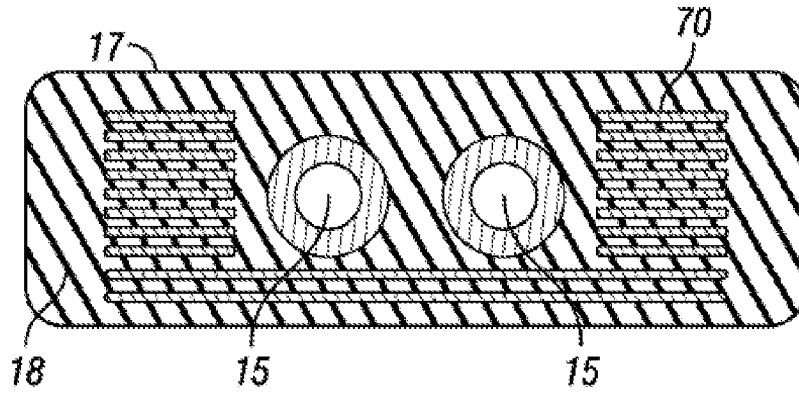
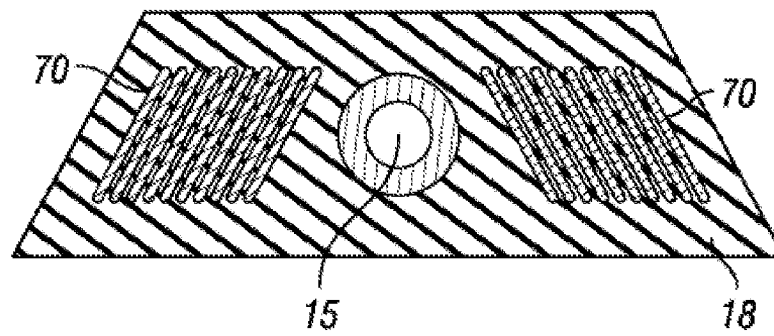
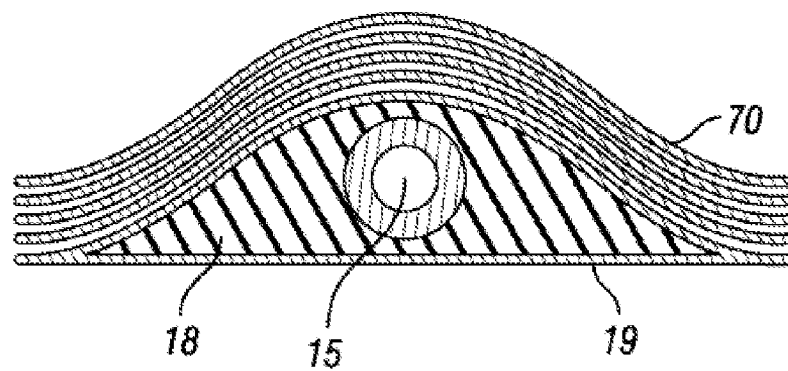


FIG. 11

**FIG. 12****FIG. 13****FIG. 14**

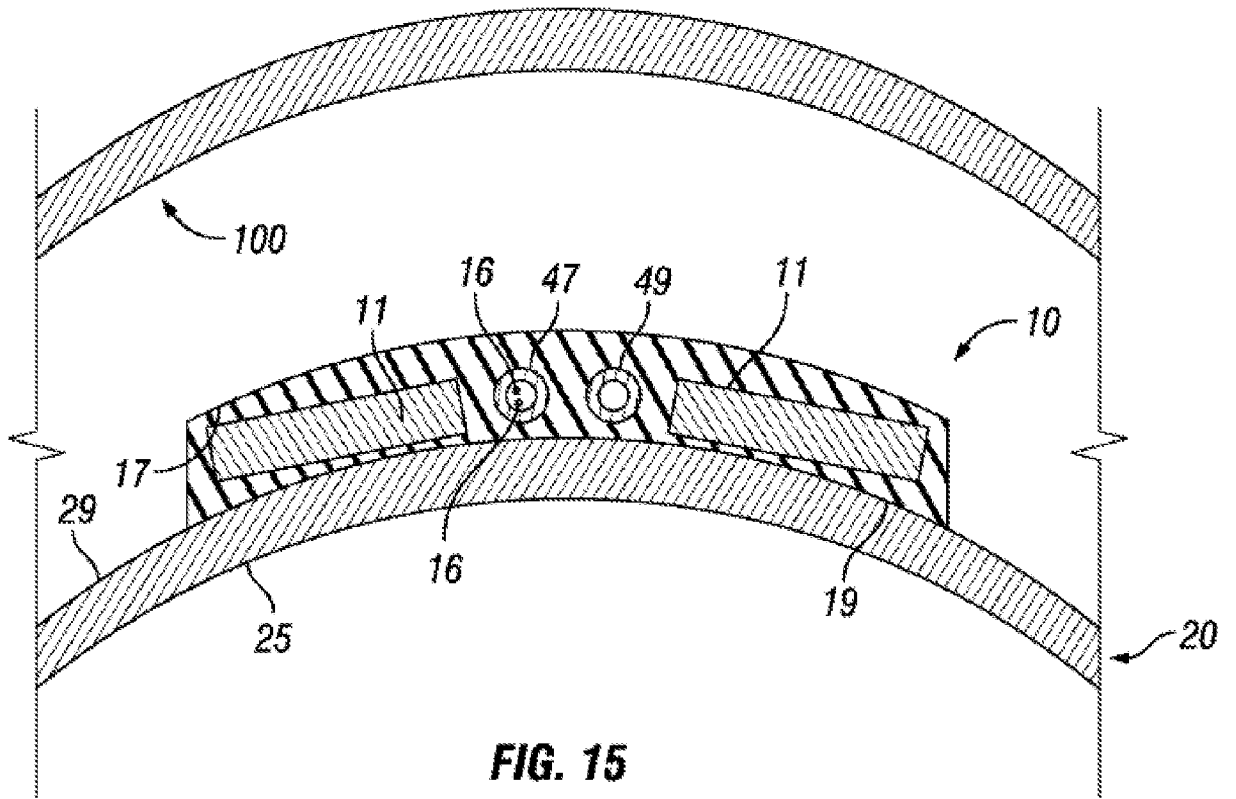


FIG. 15

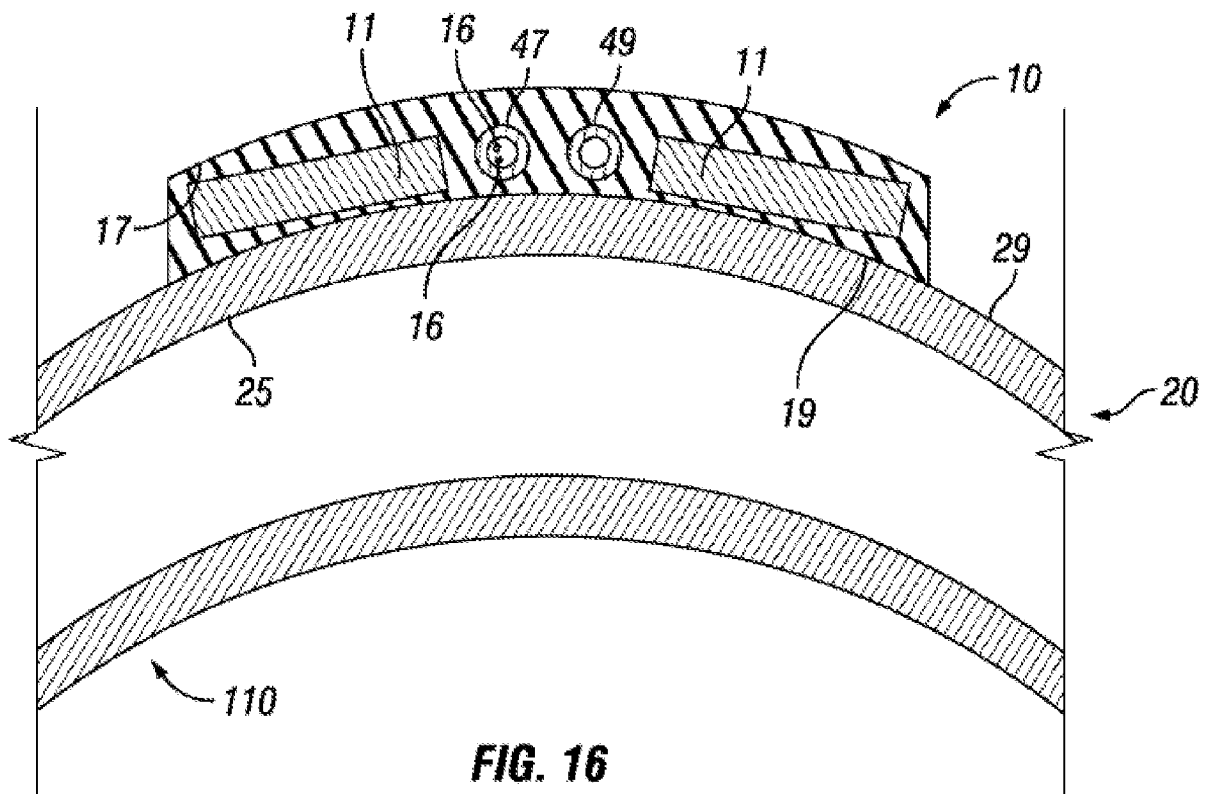
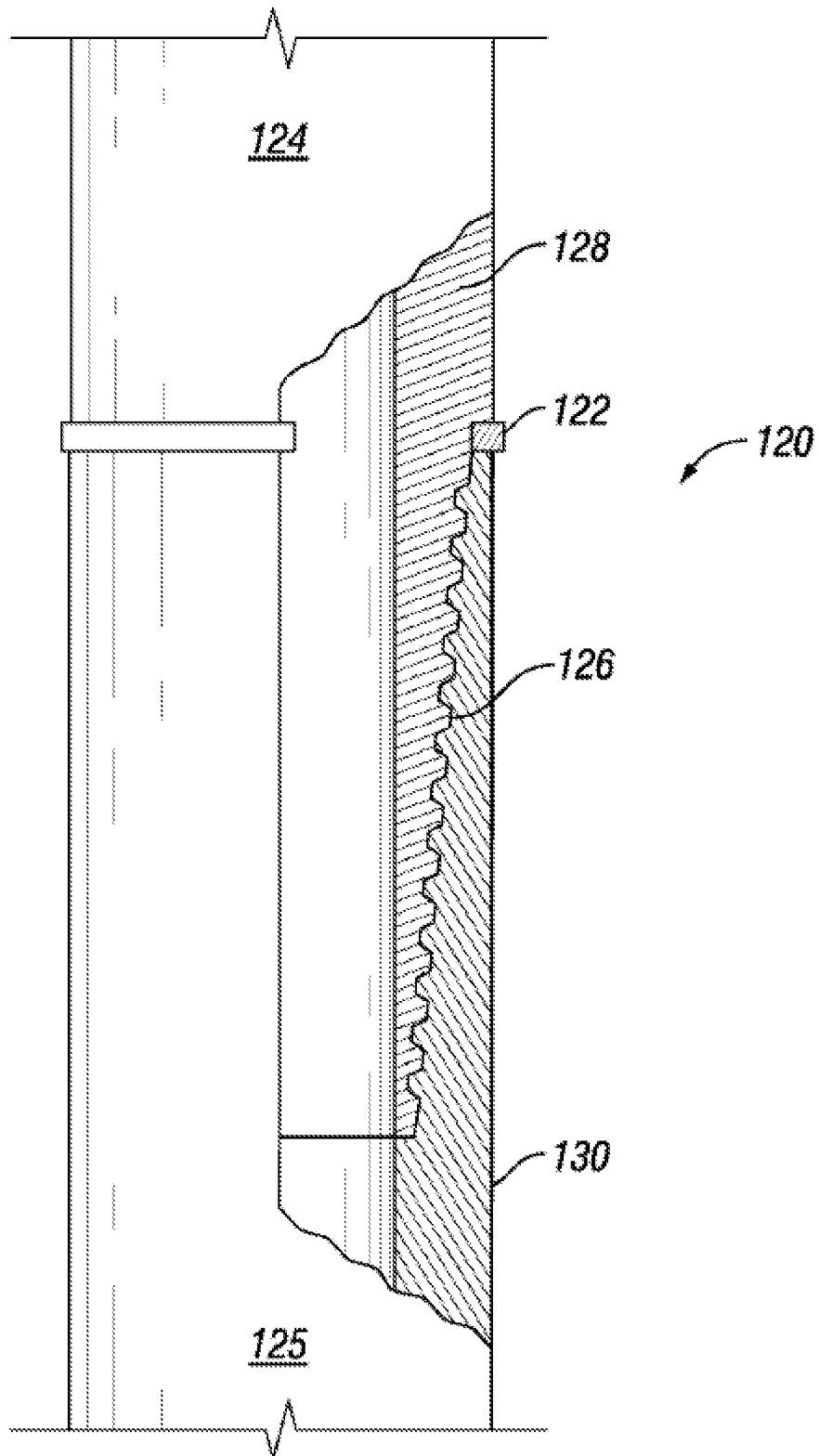
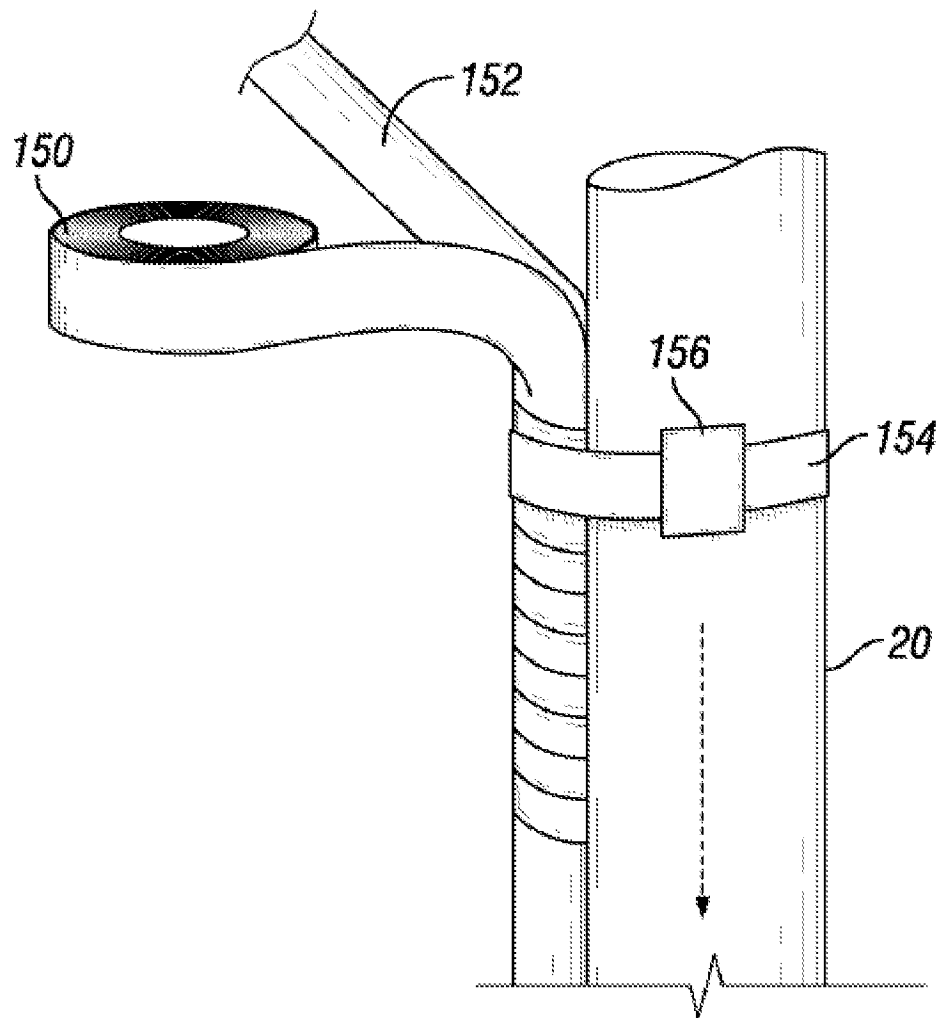


FIG. 16

**FIG. 17**

**FIG. 18**

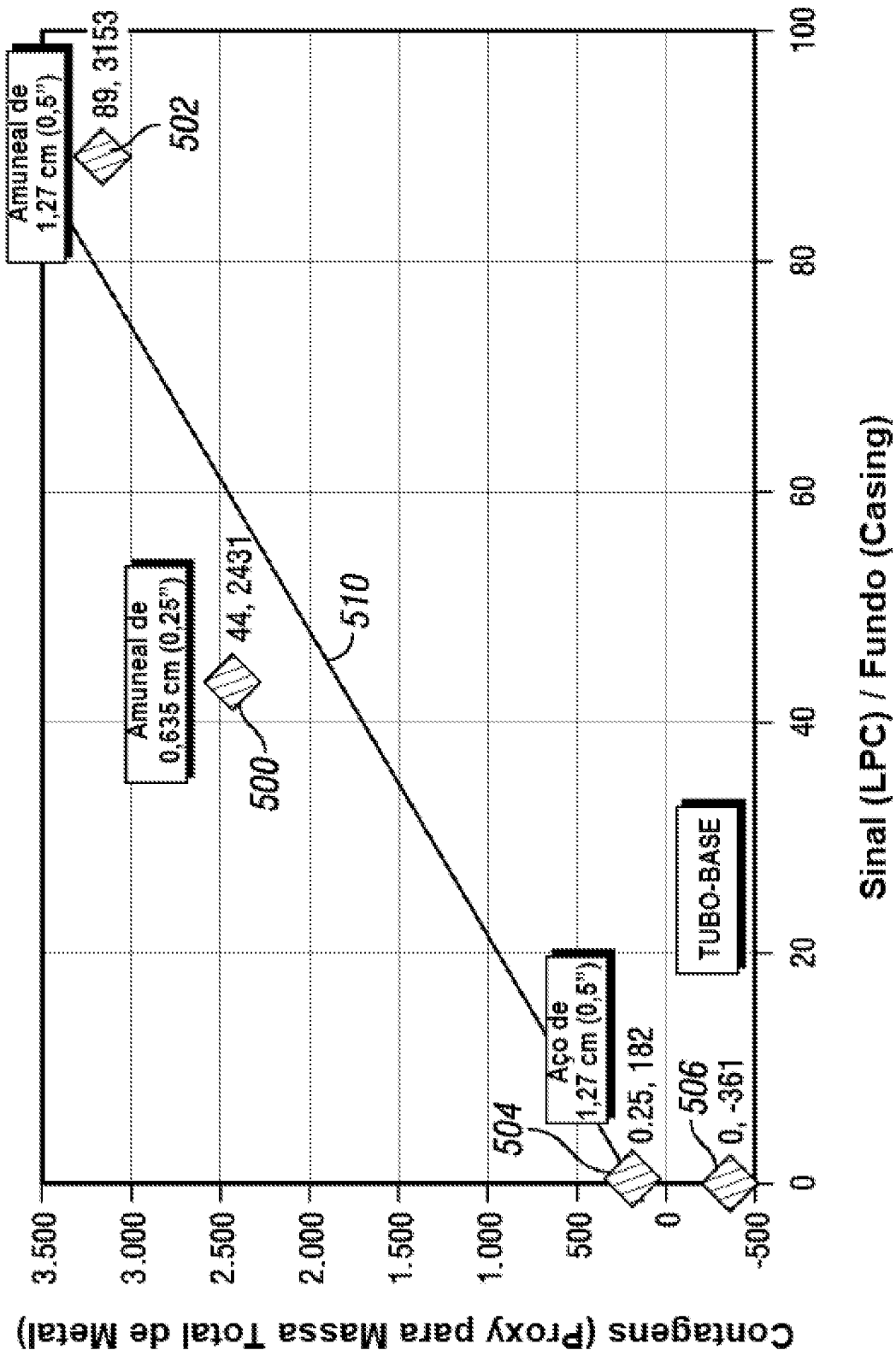


FIG. 19

RESUMO**SISTEMA DE CABO PARA USO EM INTERIOR DE POÇO, E, MÉTODO PARA PERFURAR UM FURO DE POÇO TUBULAR**

Trata-se de um sistema para fornecer informações através de uma parede de metal que emprega um dispositivo (10), tal como um cabo de fibra óptica, adaptado para ser disposto sobre um lado da parede de metal (20) e um elemento de permeabilidade magnética (11), fornecido a, perto de ou conectado ao dispositivo. O elemento de permeabilidade magnética se baseia em um material que tem uma permeabilidade magnética relativa de pelo menos 2.000. A divulgação fornece ainda o uso de tal sistema. O uso pode envolver a etapa de otimizar o elemento de permeabilidade magnética usando massa indutiva equivalente (Elm). O sistema pode, por exemplo, ser usado para identificar a localização de um cabo (10) presente no exterior de um furo de poço tubular (20) usando uma ferramenta de orientação magnética que é localizada no interior do furo de poço tubular.