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

(21) **PI0806638-8 A2**

BRPI0806638A2

(22) Data de Depósito: 28/11/2008
(43) Data da Publicação: 21/09/2010
(RPI 2072)

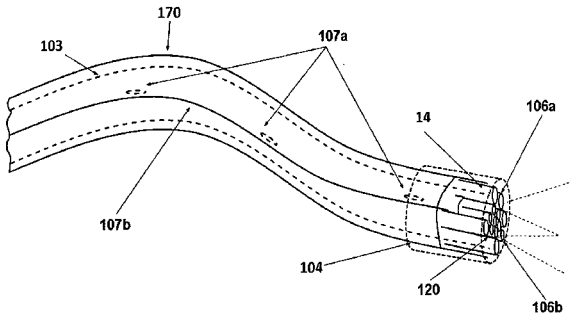
(51) Int.Cl.:
E21B 7/15

(54) Título: **SISTEMA E PROCESSO DE PERFURAÇÃO A LASER**

(73) Titular(es): Faculdades Católicas Mantenedora da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC Rio

(72) Inventor(es): Arthur Martins Barbosa Braga, Cicero Martelli

(57) Resumo: SISTEMA E PROCESSO DE PERFURAÇÃO A LASER. É descrito um sistema (100) de perfuração a laser para a perfuração de materiais sólidos, o sistema compreendendo uma broca óptica (104) dotada de sensores (106) que determinam parâmetros do processo de perfuração e enviam essas informações via barramento (17) a um centro de controle e operação (101), este sendo conectado a um sistema de refrigeração e a retirada de resíduos (105) via barramento (13) e a uma fonte de energia (102) via barramento (10), a fonte (102) sendo conectada via barramento (12) à broca óptica (104), de modo que uma vez determinados os parâmetros de processo com auxílio dos sensores (106) o centro de controle (101) inicia o processo de emissão de luz laser via sistema de laser (201) a energia laser sendo conduzida até a broca (104) que inicia o processo sob condições controladas em tempo real. O processo de perfuração a laser utilizando o sistema da invenção também é descrito, O sistema de perfuração efetua a perfilagem das propriedades físico-químicas e mecânicas do material do poço perfurado.



PI0806638-8

Relatório Descritivo de Patente de Invenção

SISTEMA E PROCESSO DE PERFURAÇÃO A LASER

Campo da Invenção

A presente invenção pertence ao campo dos sistemas para perfuração a laser, mais especificamente, a um sistema de perfuração a laser e a um processo para perfuração de rochas, solo e materiais de engenharia, utilizando luz laser de alta intensidade, o sistema de perfuração compreendendo sistemas auxiliares ou subsistemas, integrados ao sistema óptico para refrigeração, retirada de resíduos, sensoriamento e imageamento, posicionamento e controle e gerenciamento do sistema como um todo (laser(s), fibra(s) óptica(s), dispositivos ópticos, mecânicos e eletrônicos).

Fundamentos da Invenção

A perfuração de poços utilizando luz laser de alta intensidade foi proposta nos anos 70 como alternativa para a perfuração com broca mecânica, conforme referências citadas a seguir.

O documento US 3,977,478 descreve um processo de perfuração de formações subterrâneas utilizando tecnologia laser, onde feixe laser colimado no furo de poço em registro com a formação e dirigindo o raio laser transversalmente na formação com refletor adequado. O poço é altamente pressurizado com gás de modo que o raio laser penetra a formação, o gás pressurizado força os fluidos resultantes da operação de perfuração para dentro de fissuras e poros em volta do furo perfurado pelo laser de modo a inibir a oclusão deletéria do raio laser. Igualmente, o raio laser pode ser programado de modo dinâmico com alguma forma de onda dependente do tempo, por exemplo, em pulsos, para gerar choque térmico na formação com o objetivo de formar ou alargar fissuras que recebem fluido.

O documento US 3,998,281 descreve um processo para perfuração de poços de óleo e gás. O processo emprega raio laser de alta potência focado e dirigido por dispositivos ópticos e/ou de varredura apropriados para estrutura

anular vertical dirigida para baixo. Jato de fluido dirigido para dentro do poço é disposto adjacente ao raio laser entre a formação e o dispositivo óptico ou de varredura. O raio e o jato de fluido são pulsados alternativamente o jato de fluido é efetivo para criar choque térmico no núcleo para quebrar o mesmo e defletir material retirado do poço.

O documento US 4,066,138 descreve um aparelho para perfuração montado na superfície e que dirige luz laser de alta potência em forma de anel para baixo para perfurar furo cilíndrico pela fusão sucessiva de regiões anulares do estrato a ser penetrado, a energia fornecida é suficiente para quebrar e auto-ejetar sucessivas camadas do poço. O primeiro jato de fluido acima do poço defleta o núcleo ejetado à medida que ele sai do poço. Outro segundo jato de fluido acima do poço ejeta fluido para prover o estrato a ser penetrado com fluido antes da atuação do laser para promover um choque térmico capaz de quebrar e ejetar o núcleo. Sensoriamento óptico detecta separadamente a quebra do núcleo e ejeção do mesmo para controlar atuação controlada dos componentes do sistema. O arranjo descrito compreende pluralidade de laseres dispostos de modo simétrico em torno de centro comum.

Apesar de todas as vantagens associadas à utilização do processo de perfuração não baseado no contato físico entre a broca e a superfície a ser perfurada (entre elas velocidade de perfuração, ausência de contato físico entre a broca de perfuração e a superfície a ser perfurada, eficiência energética, etc.), a utilização de laseres em perfuração de poços não foi desenvolvida a níveis comerciais em função da ausência de laseres com potência mínima necessária para a perfuração eficiente e competitiva quando comparados aos equipamentos mecânicos.

Outros problemas que limitaram a implementação prática da perfuração a laser de poços foram: as dimensões dos laseres que impossibilitavam a sua inserção nos orifícios (poços) perfurados; e a inexistência de condutores ópticos (fibras ópticas) eficientes (com baixas perdas por confinamento, alta transparência e controle da suceptibilidade à indução de fenômenos não

lineares), que permitiria o guiamento da luz laser a longas distâncias e em locais com pequenas dimensões e difícil acesso.

Os documentos US 4,090,572 e US 4,113,036 descrevem também perfurações a laser.

O documento US 4,199,034 descreve um processo de operações de canhoneio em poços de petróleo e gás utilizando energia laser. Conforme o processo descrito, raio de luz laser de alta potência é dirigido axialmente ao longo do poço até determinada profundidade a partir de locação na superfície, defletindo o raio nesta profundidade ao longo de eixo do raio defletido, e focalizando sucessivamente o raio nesta profundidade para concentrar o raio em cada um de uma pluralidade de pontos focais espaçados ao longo de eixo do raio defletido. É alegado que o processo descrito provê aumento significativo na distância (comprimento) à qual as formações petrolíferas podem ser perfuradas, o que enseja maior rendimento, e ainda provê determinação precisa da orientação exata do plano quase horizontal dessas perfurações de modo que cada uma pode ser dirigida para a direção da zona de produção mais promissora.

No final da década de 90 e início dos anos 2000 sistemas laseres compactos e de alta potência se tornam comercialmente disponíveis e o interesse em sua utilização em perfuração de poços é renovado. Além do desenvolvimento de laseres de alta potência (baseados em diferentes topologias e materiais ativos, por exemplo, gás, corante, semicondutor, cristal, fibra óptica dopada ou não, etc) o desenvolvimento das fibras ópticas (mono-modo, multi-modo e com diversidade de perfis de índice de refração da seção transversal e materiais) com alta transparência, baixas perdas por confinamento e controle de não linearidades constituem outro fator motivador da utilização da luz laser de alta intensidade para perfuração.

Com a utilização de fibras ópticas, é possível conduzir a luz laser de alta intensidade a longas distâncias (algumas dezenas de quilômetros) e manter a qualidade da luz laser (intensidade e coerências temporal e espacial) na saída

da fibra suficientemente alta garantindo a entrega de altas densidades ópticas – condição que aumenta a eficiência do processo de perfuração.

Mais recentemente, a literatura de patentes aponta os seguintes documentos pertinentes sobre o assunto.

O documento US 6,365,871 refere-se a um processo de perfuração a laser através de ferramenta como bico injetor (40), em cavidade que compreende furo (41) de perfuração através da ferramenta (40) com laser (50), provendo fluido com propriedades de barreira de laser na cavidade de modo que, quando o furo (41) é aberto para a cavidade, a luz laser passando através do furo (41) é incidente sobre o fluido pelo que a ferramenta (40) transversal à cavidade a partir do furo (41) é protegida da luz laser, e fazendo com que o fluido não entre no furo (41) perfurado pelo laser durante o processo de perfuração. O aparelho para efetuar o processo também é descrito.

O documento US 6,626,249 descreve um sistema geotérmico de perfuração e recuperação que compreende sonda de perfuração tendo elevador com laser e canhoneio a radar montado no dito elevador, tubo de perfuração, espelho giratório montado adjacente à extremidade inferior do dito tubo de perfuração e dispositivos para estabelecer vácuo adjacente à dita extremidade inferior do tubo de perfuração para remover e recuperar calor e resíduos de perfuração.

O documento US 6,755,262 trata de um aparelho de perfuração de poços que pode ser pelo menos parcialmente colocado em poço em perfuração. O aparelho inclui pluralidade de fibras ópticas, cada uma das quais tem uma extremidade próxima de entrada de energia e uma extremidade distante de saída de energia da fibra óptica. Pelo menos uma lente focal está disposta na extremidade distante de saída de luz da fibra óptica. A lente focal é colocada para receber energia da extremidade distante de saída de luz de fibra óptica correspondente a pelo menos uma fibra óptica e focalizar a mesma para fora a partir da extremidade distante de saída de luz da fibra óptica.

O documento US 6,870,128 descreve um processo de perfuração de poços com raio laser, o processo compreendendo dirigir o raio laser para

dentro de conduto, onde o raio laser é guiado através do conduto pela refletividade interna do dito conduto, e estendendo o conduto para dentro do poço, de modo que o raio laser que deixa o conduto se dirige sobre área no poço a ser furada. Um sistema para furar poço com raio laser é igualmente provido, o sistema compreendendo dispositivo para dirigir o raio laser no interior de conduto, em que o raio laser é guiado através do conduto pela refletividade interna do dito conduto, e dispositivo para estender o conduto no interior do poço, de modo que o raio laser que deixa o conduto é dirigido para uma área no poço a ser furado. O documento provê ainda aparelho formado de conduto que pode ser estendido para o interior do poço, e superfície no interior do conduto, onde a superfície interna é refletiva ao raio laser.

O documento US 6,880,646 descreve um processo e aparelho para prover fluxo de fluido a poço no qual aparelho provido com pelo menos uma saída para energia laser é baixado no poço e a pelo menos uma saída para energia laser é dirigida para a parede do poço. Pelo menos parte da parede é aquecida usando pelo menos uma saída para energia laser, pelo que o fluxo de fluido para o poço é iniciado e/ou aumentado.

O documento US 6,888,097 descreve um aparelho para a perfuração de paredes de poços, o aparelho compreendendo cabo de fibra óptica tendo uma extremidade para entrada de luz laser e uma extremidade de saída de luz laser. Fonte de laser é conectada operacionalmente à extremidade de entrada de laser e uma cabeça de laser é conectada à extremidade de saída de laser. A cabeça de laser inclui componentes de controle de laser para controlar pelo menos uma característica de raio laser. Elementos para o controle da cabeça de laser para controlar o movimento e localização da cabeça de laser são conectados operacionalmente ao cabo de fibra óptica. A cabeça de laser está fechada em revestimento protetor, que protege o cabo de fibra óptica e elementos, tais como refletores e lentes, para controlar o raio laser emitido pelo cabo de fibra óptica ali disposto do ambiente agressivo encontrado em operações de perfuração.

O documento US 7,416,258 trata de aparelhos e processos utilizando laseres para fragmentar e perfurar rochas. Um processo de remoção de rocha é apresentado, o qual utiliza combinação de tensão térmica induzida por laser e explosões com vapor superaquecido induzidas por laser imediatamente abaixo da superfície da interação laser/rocha para fragmentar a rocha em pequenos fragmentos que podem então ser facilmente removidos por fluxo de purga. Raios mono laser de certa radiância fragmentam a rocha e criam furos com diâmetro e profundidade aproximadamente igual ao tamanho da projeção do raio. Grupos de raios mono laser são conduzidos de modo controlável por interruptor eletro-óptico para raio laser até locações na superfície da rocha, criando múltiplos furos com rocha fragmentada que se superpõem, de modo a remover camada de rocha de diâmetro desejado. A perfuração de furo profundo é conseguida pela fragmentação de camadas consecutivas com movimento intermitente de alimentação da cabeça de laser perpendicular à superfície da rocha.

O documento US 2008/0032152 trata do processamento a choque com laser em aplicações de óleo e gás ou aplicações petroquímicas. O uso inclui submeter vários tipos de conjuntos de peças soldadas usadas em aplicações de óleo e gás a processamento com choque laser para criar tensões compressivas residuais próximas à superfície da área tratada. As forças compressivas residuais nos componentes ferrosos ou não ferrosos aperfeiçoam propriedades incluindo resistência superficial, duração em relação à fadiga, dureza superficial, resistência à corrosão por stress, resistência à fadiga, e resistência à quebra induzida por fatores ambientais.

Importa ressaltar que mesmo nas tecnologias que propõem a utilização de fibra(s) óptica(s) para entregar luz laser de alta intensidade em regiões de fundo de poço não houve nenhuma demonstração prática desta possibilidade quando considerados longos trechos de fibra (poços profundos, *i.e.* >centenas de metros). A principal razão para isso é a indução de fenômenos não lineares durante a propagação de luz laser de alta intensidade por longos trechos de fibra. Este problema é clássico dentro da óptica guiada e muitos grupos de

pesquisa e empresas têm dedicado esforços para reduzi-lo ou eliminá-lo. Vide a este respeito o compêndio por A. Mendes & T.F. Morse, "Specialty Optical Fibers Handbook", Chapter 22, pp. 671-696, Editora Elsevier, 2007.

Entre as várias tecnologias laseres, importa ressaltar o desenvolvimento do laser a fibra óptica onde a luz laser de alta intensidade é gerada dentro da própria fibra óptica. Este laser é compacto e geralmente não requer refrigeração mesmo quando operando com altas intensidades (≥kW). Ademais, as perdas por acoplamento da luz na saída do laser, com fibra óptica condutora (responsável por conduzir a luz laser de alta intensidade por longas distâncias até a região de interesse) são mínimas uma vez que se trata de acoplamento fibra-fibra e não espaço livre-fibra.

No que tange ao comprimento de onda da luz laser, observa-se a disponibilidade comercial de sistemas laseres de alta potência com comprimentos de onda variados (do ultravioleta ao infravermelho), dependendo do elemento ativo e do projeto da cavidade laser, e laseres com comprimento de onda sintonizável. Isto significa que, dependendo do material da superfície a ser perfurada, é possível utilizar comprimento de onda de perfuração que coincida com a banda de absorção deste material. Isto aumenta significativamente a eficiência do processo. Assim, durante a perfuração é possível selecionar em tempo real o comprimento de onda da luz laser mais adequado para a superfície. Esta é outra vantagem tecnológica da perfuração a laser em relação a sistemas mecânicos convencionais.

Além do aumento da eficiência de perfuração é possível utilizar a informação referente aos parâmetros ótimos de perfuração (entre eles, comprimento(s) de onda, intensidade e regime de operação do(s) laser(s)) para identificar os materiais formadores da superfície perfurada, ou seja, é possível levantar o perfil físico-químico, espectroscópico e mecânico (porosidade e resistência do material formador da superfície perfurada etc) do substrato perfurado ao longo do eixo de perfuração em tempo real durante a perfuração. A perfilagem do solo é particularmente importante na indústria de mineração que utiliza explosivos para formar os pedregulhos que serão posteriormente

processados para a retirada do minério de interesse. Se a carga de explosivos for excessiva ou inferior ao necessário para formar pedregulhos de tamanho "ótimo" o processamento é menos eficiente o que significa menor utilização do potencial de produção da rocha.

Do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

Sumário da Invenção

De modo amplo, o sistema de perfuração da invenção utiliza luz laser de alta intensidade para perfurar a superfície de rochas e solo, cimento e até paredes de metal. Sistemas auxiliares (chamados aqui de subsistemas) para refrigeração, retirada de resíduos, sensoriamento e imageamento e controle, posicionamento e gerenciamento do sistema como um todo são integrados ao sistema óptico (laser(s) e fibra(s) óptica(s)).

Assim, a invenção provê um sistema de perfuração que utiliza luz laser de alta intensidade para perfurar a superfície de rochas e solo, cimento e até paredes de metal combinado a sistemas auxiliares para refrigeração, retirada de resíduos, sensoriamento e imageamento e controle, posicionamento e gerenciamento do sistema como um todo, integrados ao sistema óptico (laser(s) e fibra óptica(s)).

A invenção provê também um processo de perfuração para perfurar superfície de rochas e solo com auxílio do sistema descrito.

Esses e outros objetos da invenção serão melhor compreendidos e valorizados pelos técnicos no assunto a partir da descrição detalhada da invenção.

Breve Descrição das Figuras

A FIGURA 1 refere-se a um fluxograma simplificado do sistema de perfuração a laser conforme a invenção, onde 101 corresponde ao centro de

controle e operação; 102 à fonte de energia; 103 ao condutor de energia; 104 à fibra óptica; 105 ao sistema de refrigeração e retirada de resíduos; 106 a sensores (a); e 107 a sensores (b).

A FIGURA 2 refere-se a um diagrama físico esquemático de um dos possíveis subsistemas de perfuração a laser baseados na malha de controle proposta na Figura 1, onde os sistemas laseres estão presentes junto à fonte de energia.

A FIGURA 3 refere-se a um diagrama físico esquemático de sub-sistema alternativo de perfuração a laser baseado na malha de controle proposta na Figura 1, onde os sistemas laseres estão presentes próximos à broca óptica.

A FIGURA 4 refere-se a um desenho esquemático de modalidade de broca óptica conforme a invenção e duto de perfuração com detalhes de alguns dos subsistemas presentes.

Descrição Detalhada da Invenção

Conforme o conceito da invenção entende-se por sistema laser tanto laseres sintonizáveis como laseres com comprimentos de onda diferentes, e laseres baseados em diferentes tecnologias como a gás, estado sólido, corante, cristal, fibra óptica etc., e laseres com emissão pulsada ou contínua. Estes, tanto estão situados junto à fonte de alimentação ou alternativamente próximos à broca óptica conforme será detalhado a seguir.

O sistema de perfuração utiliza luz de alta intensidade gerada por sistemas laseres para perfurar poços terrestres e submarinos bem como orifícios laterais nas paredes de poços já existentes - substituindo o "canhoneio".

A luz laser de alta intensidade é conduzida até a superfície a ser perfurada por fibras ópticas. Dependendo da distância que a luz deve percorrer até a superfície a ser perfurada, do comprimento de onda da luz laser e da densidade óptica necessária para a perfuração, a fibra óptica pode ser de material vítreo ou cristalino, mono ou multi-modo, com perfis de índice de refração variados, isoladas ou dispostas em grupo ou feixe ("bundle").

Alternativamente, dispositivos ópticos selecionados dentre espelhos, lentes, prismas, redes de difração, etc., são utilizados para conduzir a luz até a superfície a ser perfurada.

O princípio de operação é baseado na quebra das ligações químicas do(s) material(s) que compõe(m) a superfície a ser perfurada através do fornecimento de luz localizada de alta intensidade transformando, assim, a superfície sólida em material particulado. As partículas sólidas resultantes da ação laser sobre a superfície são removidas do poço por meio de sistema especializado para retirada de resíduos. Dependendo do tempo de interação da luz laser com o material da superfície é possível aumentar a rigidez mecânica das paredes do poço mediante fusão e subsequente vitrificação do material das paredes do poço. Este sistema utiliza fluidos (na forma líquida ou gasosa) como meio de captação e transporte dos materiais particulados.

Paralelamente ao processo de perfuração, sensores foto-luminescentes e espectroscópicos caracterizam as bandas de emissão e absorção tanto do material na superfície sob perfuração quanto do material particulado gerado pela interação da luz laser com o material do poço. Este monitoramento em tempo real das propriedades ópticas do material da superfície sob perfuração consiste em avanço significativo nas técnicas de caracterização do perfil do poço. Os dados medidos também servem de alimentação para o subsistema de controle e automação do sistema de perfuração que é responsável por ajustar as condições mais eficientes de perfuração, entre elas a intensidade, o comprimento de onda e o regime de emissão da luz laser.

Sensores de pressão, temperatura, deformação e outras grandezas (físicas e químicas), baseados em conversão termo-elétrica, eletro-resistiva, termo-óptica, eletro-óptica, elasto-óptica, eletro-química ou foto-química, são instalados em diversas partes do sistema de perfuração da invenção e permitem a monitoração contínua e em tempo real do processo de perfuração.

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

A malha de controle do sistema de perfuração a luz laser proposto, geralmente designado pelo numeral 100, é apresentada na Figura 1. Conforme a Figura 1, cada bloco corresponde à função específica realizada por subsistema integrado ao sistema de perfuração 100. Os subsistemas (funções) trocam informações (variáveis de controle, informação, energia, etc.) entre si através das linhas de interconexão, que são representadas por linhas sólidas na malha de controle, e o sentido da transferência da informação é representado pelas setas.

Deve ficar bem claro para os especialistas que as linhas 15 e 16 da Figura 1 não representam nenhum dispositivo físico, mas simplesmente a transferência de variáveis respectivamente da broca óptica/condutor de energia para os sensores 106/107. Fisicamente basta o contato físico broca-sensor para a transmissão de dados de variáveis.

A malha de controle consiste na espinha dorsal do sistema de perfuração e, embora não apresente informação sobre a disposição física dos subsistemas dentro do sistema de perfuração, informa precisamente como eles interagem para formar sistema automatizado e inteligente capaz de perfurar diversos materiais e sob diversas condições de pressão e temperatura.

As Figuras 2 e 3 correspondem a diagramas físicos esquemáticos de dois possíveis sistemas de perfuração a laser baseados na malha de controle proposta na Figura 1. Nestas duas Figuras é possível observar a disposição física de cada subsistema. A diferença básica entre estes dois diagramas é que na Figura 2 os subsistemas laseres estão presentes junto à fonte de energia e na Figura 3 eles estão próximos à broca óptica. Isto demonstra a flexibilidade de projeto do sistema de perfuração a laser proposto na presente invenção. Os subsistemas são descritos conforme abaixo:

Centro de controle e operação 101

O controle da perfuração é totalmente automático. Alternativamente ele é manual ou ainda alternativamente, misto.

O centro de controle, automação, monitoramento e tomada de decisões do sistema de perfuração é designado nas Figuras 1, 2 e 3 pelo numeral 101.

O centro de controle e operação 101 comanda: i) a fonte de energia 102 através do barramento 10, ii) o posicionamento da ponta de perfuração 104 (ou broca óptica) e iii) o sistema 105 de refrigeração e retirada de resíduos através dos barramentos, 19 e 13, respectivamente.Além disso, o centro de controle 101 recebe informações dos sensores 106 e sensores 107, pelos barramentos 17 e 18, respectivamente, que auxiliam a tomada de decisão do processo de perfuração.O centro de controle e operação 101 é constituído por computador e software supervisório com lógica integrada.

Fonte de energia 102

A fonte de energia 102 para o processo de perfuração é oriunda de grupo motor-gerador, painel fotovoltaico, gerador eólico, bateria, gerador Peltier, etc., instalados em veículo terrestre (caminhão), marítimo (barco ou submarino), na superfície ou ainda no leito do mar.

Em uma concretização preferencial da invenção, o sistema laser 201 de alta intensidade está instalado junto à fonte de energia 102, conforme a Figura 2.A fonte de energia 102 recebe informação de controle do centro de controle 101 pelo barramento 10 e envia informação (neste caso energia de alta potência e variáveis de controle) ao condutor de energia 103 pelo barramento 11.

O condutor 103 é condutor(es) metálico(s) ou fibra(s) óptica(s) (de material vítreo ou cristalino, mono ou multi-modo, com perfis de índice de refração variados, dispostas ou não em grupo ("bundle")) dependendo da posição do sistema laser 201 representado nas Figuras 2 e 3. Assim, se o sistema laser 201 estiver junto à fonte de energia 102 conforme a Figura 2, o condutor 103 é fibra óptica. Já se o sistema laser 201 estiver junto à broca de perfuração 104 conforme a Figura 3, o condutor 103 é condutor metálico.

Condutor de energia (103)

O condutor de energia 103 transporta tanto a luz emitida pelo sistema laser 201 quando este estiver instalado junto à fonte de energia 102 até a broca óptica 104 (conforme esquematicamente representado na Figura 2), ou alternativamente transporta eletricidade para a alimentação do sistema laser

quando este estiver instalado junto à broca óptica 104 (conforme esquematicamente representado na Figura 3).

Além de transportar energia este condutor 103 contém dispositivos sensores 107, baseados em diferentes tecnologias como, por exemplo, fibras ópticas, ditos sensores sendo instalados ao longo da extensão do dito condutor para o monitoramento de esforços mecânicos (deformações e pressão) e temperatura e, também, análise das propriedades do material das paredes do poço durante o processo de perfuração de forma localizada, semi-distribuída e distribuída.

O condutor de energia 103 recebe informação da fonte de energia 102 pelo barramento 11 (que é condutor metálico ou fibra óptica (de material vítreo ou cristalino, mono ou multi-modo, com perfis de índice de refração variados, dispostas ou não em grupo ("bundle")) e envia informação (energia de alta intensidade) à ponta de perfuração 104 pelo barramento 12 selecionado dentre cabo metálico ou fibra óptica (de material vítreo ou cristalino, mono ou multi-modo, com perfis de índice de refração variados, dispostas ou não em grupo ("bundle")).

Broca óptica (104)

É também designada como ponta de perfuração e tem como função principal fornecer luz de alta intensidade à superfície a ser perfurada, monitorar o processo de perfuração e permitir a retirada de resíduos gerados pela ação laser na superfície a ser perfurada. Dessa forma, a maior parte dos subsistemas está diretamente interligada ou integrada com a broca óptica 104.

Assim, os sensores 106 estão diretamente instalados na broca óptica 104, o sistema de refrigeração e remoção de resíduos 105 retira calor da broca óptica 104 e fornece os fluídos necessários para a remoção dos resíduos da perfuração e o sistema laser 201 fornece à dita broca luz de alta intensidade que será utilizada para a perfuração, etc.

Portanto, as funções da broca óptica 104 podem ser listadas como: 1) focalização e distribuição da luz com alta intensidade na superfície a ser perfurada, 2) auto-posicionamento (movimentos de translação, angulares e de

rotação); e 3) injeção de fluídos para proteção das partes ópticas da mesma, remoção dos resíduos provenientes da perfuração e resfriamento dos sistemas ópticos, mecânicos e elétricos como um todo.

Em uma concretização preferencial da invenção o sistema laser 201 está disposto junto à fonte de energia 102 conforme a Figura 2 e assim o condutor de energia 103 consiste de fibras ópticas (de material vítreo ou cristalino, mono ou multi-modo, com perfis de índice de refração variados, dispostas ou não em grupo ("bundle")) e fornece luz laser de alta intensidade à broca óptica 104.

Alternativamente, em outra concretização preferencial da invenção, o sistema laser de alta intensidade 201 está disposto junto à broca óptica 104 conforme Figura 3, neste caso o condutor de energia 103 é responsável por fornecer eletricidade ao sistema laser.

Sistema 105 de refrigeração e remoção de resíduos

Este é hidráulico, pneumático ou misto hidráulico-pneumático e é responsável pela refrigeração e estabilização térmica do condutor de energia 103 através de 20 (que pode ser apenas tubulação para refrigeração ou trocador de calor) e de todos os sistemas integrados na ponta de perfuração 104 através de tubulação 14 (dutos para injeção de fluidos para remoção de resíduos oriundos da ação laser e sucção da mistura dos fluídos injetados com os resíduos sólidos).

O sistema 105 é controlado pelo centro de controle 101 com auxílio do barramento 13. Os mesmos fluidos utilizados na refrigeração podem também ser usados para a retirada de resíduos provenientes da perfuração. Alternativamente, fluidos independentes podem ser utilizados para cada função, refrigeração ou remoção de resíduos. Os fluidos do sistema 105 de refrigeração e remoção de resíduos são responsáveis pelo isolamento das fibras ópticas do condutor de energia 103 contra a infiltração de H_2 – a presença de H_2S não é incomum em poços de petróleo e a difusão de Hidrogênio no interior de fibras ópticas de sílica pode degradar as propriedades

ópticas da fibra, por isso a necessidade de proteger a fibra contra a difusão de Hidrogênio.

O sistema 105 de refrigeração e remoção de resíduos envia e retira fluidos para retirada de resíduos na superfície perfurada pela ponta de perfuração 104 através da tubulação 14. A tubulação para circulação dos fluidos de refrigeração e remoção de resíduos da perfuração 14 tem sua extremidade indicada na Figura 4.

Sensores 106

Trata-se de conjunto de dispositivos sensores, localizados, semi-distribuídos e distribuídos (baseados em conversão termo-elétrica, eletro-resistiva, termo-óptica, eletro-óptica, elasto-óptica, eletro-química ou foto-química) responsável pela monitoração das condições de operação dos vários sistemas dispostos na ponta de perfuração 104 (medição de temperatura, esforços mecânicos, pressão e degradação óptica, etc.); monitoração dos resíduos provenientes da perfuração (sensores espectroscópicos e fotoquímicos); imageamento em tempo real da superfície perfurada pela broca óptica 104; e sistema de geo-posicionamento para controle da direção da perfuração através dos sistemas mecânicos de posicionamento da broca óptica 104. A interface dos sensores 106 com a broca óptica 104 é representada pela linha 15 no diagrama de controle da Figura 1.

As informações obtidas por estas medições são transmitidas ao centro de controle e operação 101 pelo barramento 17 e utilizadas para tomada de decisões sobre o processo de perfuração e determinação das propriedades dos materiais da superfície sob perfuração.

Grupo de fibras ópticas 106a

Estas fibras (de material vítreo ou cristalino, mono ou multi-modo, com perfis de índice de refração variados, dispostas ou não em grupo ("bundle")) se destinam a imageamento em tempo real da superfície a ser perfurada, do processo de perfuração e das paredes do duto. O sistema de imageamento é representado pelos sensores 106 da malha de controle do sistema 100 de perfuração baseado em luz laser de alta intensidade.

Fibras ópticas sensoras 106b

São fibras ópticas (de material vítreo ou cristalino, mono ou multi-modo, com perfis de índice de refração variados, dispostas ou não em grupo ("bundle")) para medição espectroscópica e foto-luminescente do material da superfície a ser perfurada e dos materiais subprodutos do processo de perfuração laser. Este sistema de sensoriamento espectroscópico é grupo de sensores localizados que compõe a pluralidade de sensores denominados como sensores 106 da malha de controle do sistema de perfuração 100 baseado em luz laser de alta intensidade.

Sensores 107

Trata-se de conjunto de dispositivos sensores (baseados em conversão termo-elétrica, eletro-resistiva, termo-óptica, eletro-óptica, elasto-óptica, eletro-química ou foto-química) responsável pela monitoração das condições de operação do condutor de energia 103, medição de temperatura localizada, semi-distribuída e distribuída ao longo do condutor de energia 103, esforços mecânicos em regiões definidas e/ou de forma distribuída ao longo do condutor de energia 103 e análise espectroscópica dos materiais nas paredes do poço localizada, semi-distribuída e distribuidamente ao longo do condutor de energia 103.

A interface dos sensores 107 com o condutor de energia 103 é representada pela linha 16 no diagrama de controle da Figura 1.

As informações obtidas pelos sensores 107 são utilizadas pelo centro de controle e operação 101 (transmitidas por 18 barramento de transmissão de variáveis) para tomada de decisões sobre o processo de perfuração.

Além disso, os sensores 107 provêem o centro de controle e operação 101 com informações sobre a composição físico-química dos diversos materiais ao longo do poço perfurado.

Conforme discutido anteriormente, são previstas duas configurações ou modalidades possíveis para o sistema de perfuração 100 da invenção baseado em luz laser de alta intensidade.

Conforme uma concretização preferencial, os laseres 201 são baseados em unidade estática (terrestre, marítima ou submarina) junto à fonte de energia 102 e sistema de refrigeração 105 tal como indicado na Figura 2, onde a luz laser é transmitida até a broca óptica 104 por fibras ópticas.

Em configuração alternativa, os laseres 201 estão situados próximos à broca óptica 104 dentro do duto de perfuração 170 (não representado) conforme indicado na Figura 3. Nesta configuração uma unidade 202 de controle e alimentação dos laseres é instalada remotamente junto com a fonte de energia 102 e o sistema 105 de refrigeração e retirada de resíduos. A unidade 202 é alimentada pela fonte de energia 102.

Sensores 107a

Estes sensores estão localizados ao longo do condutor de energia 103 e do duto de perfuração 170. São grupo de sensores localizados e semi-distribuídos que compõe a pluralidade de sensores denominados como sensores 107 da malha de controle do sistema 100 de perfuração baseado em luz laser de alta intensidade (Figura 1).

Sensores 107b

São sensores distribuídos ao longo do condutor de energia 103 e do duto de perfuração 170 e é grupo de sensores distribuídos que compõe a pluralidade de sensores denominados como sensores 107 da malha de controle do sistema 100 de perfuração baseado em luz laser de alta intensidade. Componentes das Figuras 2 e 3 são descritos abaixo:

Sistema laser 201

Este sistema é formado por dispositivos emissores de luz laser de alta intensidade (a gás, estado sólido, corante, cristal, fibra óptica etc), esses dispositivos sendo responsáveis por gerar a energia óptica utilizada para a perfuração.

Vantajosamente, o processo de perfuração é otimizado mediante sintonia do(s) comprimento(s) de onda(s) de operação da luz laser de alta intensidade proveniente da fonte de energia 102 e regime de operação do sistema laser 201.

Fonte de alimentação 202

Esta é a fonte de alimentação para o sistema laser. Ela é alimentada pela fonte de energia 102, através do condutor de energia 103, e condiciona o sinal elétrico de alimentação às necessidades do sistema laser.

Um desenho esquemático de possível broca óptica 104 e duto de perfuração 170 com detalhes de alguns dos subsistemas presentes é apresentado na Figura 4. Nesta Figura, a broca óptica 104 é delimitada pelo dispositivo desenhado em linhas pontilhadas. As partes que compõem a broca óptica 104 e o duto de perfuração 170 são descritas abaixo:

Fibras ópticas condutoras 120

Estas são fibras ópticas condutoras da luz laser de alta intensidade (de material vítreo ou cristalino, mono ou multi-modo, com perfis de índice de refração variados, dispostas ou não em grupo ("bundle")) e responsáveis pela entrega da energia à superfície a ser perfurada. Fisicamente estas fibras são a continuação das fibras ópticas 123 condutoras da luz de alta intensidade da Figura 2. Alternativamente, são fibras especiais (com menor divergência ou com divergência negativa na saída, por exemplo) que são emendadas às fibras condutoras de energia. Fibras ópticas 123 são fibras ópticas condutoras da luz de alta intensidade representadas na Figura 2.

Duto de perfuração 170

Consiste no invólucro protetor de todas as partes que compõem os subsistemas do sistema 100 de perfuração objeto da invenção que são inseridos dentro do poço perfurado durante o processo de perfuração.

O processo de perfuração de materiais sólidos utilizando o sistema 100 da invenção produz o perfil físico-químico, espectroscópico e mecânico (porosidade, compactação do material formador da superfície perfurada, etc.) do poço perfurado como resultado da otimização inteligente em tempo real do processo de perfuração laser. O processo de perfuração da invenção compreende as etapas como descrito a seguir no presente relatório.

A broca óptica 104 é fixada à coluna de perfuração (não representada) e posicionada perpendicularmente e a distância ótima da superfície a ser

perfurada através da ação de controle executada pelo centro de controle e operação 101 e comandos de controle enviados à broca óptica 104 pelo barramento 19.

A distância ótima de perfuração é definida como a distância entre a broca óptica 104 e a superfície a ser perfurada que resulta na perfuração mais eficiente, quer isto signifique velocidade de perfuração ou qualidade do orifício. Esta distância pode, por exemplo, coincidir com a região de maior densidade de luz laser na saída da broca óptica 104, ou a região onde a interação laser com o material da superfície seja mais adequada ao procedimento de perfuração. A distância ótima de perfuração depende primeiramente do material da superfície a ser perfurada, pois este define qual(is) o(s) comprimento(s) de onda de operação do sistema laser 201, a intensidade da luz laser e o regime de operação do lazer (contínuo ou pulsado).

A determinação das propriedades ópticas do material da superfície a ser perfurada (absorção, refletividade, e emissão óptica) é feita pelos sensores 106. Importa ressaltar que os sensores 106 fazem também o imageamento da superfície a ser perfurada.

Estas informações são enviadas ao centro de controle e operação 101 através do barramento 17 e utilizadas para a definição do(s) comprimento(s) de onda de operação do sistema laser 201, da intensidade da luz laser e o regime de operação do lazer (contínuo ou pulsado). A partir da definição destes parâmetros, a distância ótima de operação é definida. O parâmetro "distância ótima de operação" é conseqüentemente enviado à broca óptica 104 através do barramento de controle 19 para que esta se posicione à distância estabelecida. A determinação da distância relativa entre a broca óptica 104 e a superfície é feita pelos sensores 106. A informação da distância medida pelos sensores 106 é enviada ao centro de controle e operações 101 pelo barramento 17.

A rigidez mecânica que se deseja obter para as paredes do poço é informação importante para definir o regime de operação do sistema laser 201, pois ela depende do tempo de exposição do material da superfície a ser

perfurada à luz laser de alta intensidade. De maneira geral, existe relação diretamente proporcional entre o tempo de interação luz laser-superfície a ser perfurada e a rigidez obtida nas paredes do poço. Vantajosamente, a rigidez mecânica das paredes do poço (resultante da perfuração) é aumentada através da vitrificação do material das paredes do poço. Este processo ocorre em virtude da fusão do material na região de borda da sessão sendo perfurada quando da ação laser e conseqüente solidificação dos materiais da parede do poço após resfriamento natural com a ausência da excitação laser.

Definidos os parâmetros ópticos de perfuração (comprimento de onda, intensidade da luz laser e regime de emissão da luz laser) e a distância de perfuração, utilizando como referência as propriedades ópticas do material da superfície a ser perfurada, o centro de controle e operação 101 define o fluxo inicial de fluidos para refrigeração da broca óptica 104 e retirada de resíduos resultantes da ação laser na superfície a ser perfurada utilizando a tubulação 14.

O centro de controle e operação 101 envia o comando para refrigeração e retirada de resíduos ao sistema de refrigeração e retirada de resíduos 105 através do barramento de controle 13.

A temperatura da broca óptica bem como a eficiência na remoção dos resíduos pelos fluidos de refrigeração e remoção de resíduos, respectivamente, são monitoradas pelos sensores 106. As informações adquiridas pelos sensores 106 são enviadas ao centro de controle e operação 101 via barramento 17.

Assim, os parâmetros de perfuração são definidos e constantemente avaliados pelo centro de controle e operações 101 em malha de controle fechada.

Feita a definição inicial dos parâmetros de perfuração (parâmetros ópticos e de refrigeração e remoção de resíduos) o centro de controle e operações 101 envia comando de controle para a fonte de energia 102 via barramento 10 para que esta alimente o sistema laser 201 mediante o condutor de energia 103.

Já para a modalidade onde o laser 201 está disposto próximo à broca óptica 104, a fonte de energia 102 alimenta com eletricidade a fonte de energia laser 202 conforme indicado na Figura 3, o condutor de energia 103 é resfriado pelo sistema de refrigeração e remoção de resíduos 105 via 20 e continuamente monitorado pelos sensores 107 e a informação é enviada para o centro de controle e operações 101 pelo barramento 18.

A luz laser de alta intensidade gerada pelo sistema laser 201 é conseqüentemente lançada na superfície a ser perfurada pela broca óptica 104. Com a interação da luz laser de alta intensidade com o material da superfície resíduos sólidos e/ou particulados são gerados e removidos pelo sistema de refrigeração e remoção de resíduos 105.

Conforme a superfície é perfurada a broca óptica 104 se move na direção de perfuração (perpendicular à superfície), sempre mantendo a distância ótima que é continuamente definida pelo centro de operações e controle 101 mediante monitoramento contínuo da superfície e seus materiais e dos resíduos resultantes da ação laser pelos sensores 106. Desta forma as condições de perfuração são otimizadas em tempo real durante todo o processo de perfuração.

As informações fornecidas pelos sensores 106 para otimização das condições de perfuração e pelos sensores 107 são tratadas e como resultado se obtém o perfil físico-químico, espectroscópico e mecânico (porosidade, resistência da superfície perfurada, etc.) do poço em função de sua profundidade, dessa forma este processo constitui também processo de perfilagem das propriedades dos materiais do poço.

Dentre as vantagens do sistema de perfuração conforme a invenção e processo a ele associado, podem ser citadas:

a. aumento da eficiência de perfuração, *i.e.* diminuição do tempo de perfuração,
b. redução no número de partes mecânicas móveis presentes no sistema de perfuração,

c. monitoração *in situ* do processo de perfuração o que aumenta o controle do processo,
d. capacidade de perfurar diferentes materiais (rochas com diferentes composições, metais, etc.) sem a necessidade de substituir a broca, dependendo do material a ser perfurado, diferentes comprimentos de onda da luz laser podem ser acionados para aumentar a eficiência da perfuração,
e. redução de custos com manutenção,
f. como não há contato entre a broca óptica (Figura 1 – 104) e a superfície a ser perfurada, os riscos de movimentação tectônica, causados pela perfuração são reduzidos,
g. as dimensões do sistema de perfuração são menores e este é também mais leve do que os sistemas tradicionais.

Reivindicações

SISTEMA E PROCESSO DE PERFURAÇÃO A LASER

1. Sistema de perfuração a laser para a perfuração de materiais sólidos ou misturas de materiais sólidos e líquidos, caracterizado por compreender:
    a) uma broca óptica (104) fornecedora de luz lazer para a perfuração dos ditos materiais, a broca sendo dotada de sensores (106) conectados via barramento (17);
    b) um centro de controle e operação (101) constituído por computador e software supervisório com lógica integrada, sendo que o centro de controle é conectado i) a um sistema de refrigeração e remoção de resíduos (105) via barramento (13), o sistema (105) sendo conectado via tubulação (14) à dita broca (104); ii) a uma fonte de energia (102) via barramento (10); iii) à broca óptica (104) via barramento (19);
    c) um condutor de energia (103) dotado de sensores (107) conectados ao centro (101) via barramento (18) e conectado i) à dita fonte de energia (102) via barramento (11); ii) ao sistema de refrigeração (105) via barramento (20); iii) ao dito centro (101) via barramento (18); iv) à broca óptica (104) via barramento (12); e
    d) pelo menos um sistema (201) de emissão de luz laser de alta intensidade e fibras ópticas (123) de condução da luz laser assim gerada, de modo que as informações coletadas pelos sensores (106), (107) alimentam o centro de controle (101) e este determina as condições de operação da broca óptica (104) para perfuração de materiais sólidos ou misturas de materiais sólidos e líquidos..
2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a broca óptica (104) efetuar as funções de:
    i) localização e distribuição da luz com alta intensidade na superfície a ser perfurada;

ii) auto-posicionamento (movimentos de translação, angulares e de rotação); e

iii)) injeção de fluídos para proteção das partes ópticas da mesma, remoção dos resíduos provenientes da perfuração e resfriamento dos sistemas ópticos, mecânicos e elétricos.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos sensores (106) serem localizados, semi-distribuídos e distribuídos e proporcionarem :

i) monitoração das condições de operação dos vários sistemas dispostos na broca óptica (104) (medição de temperatura, esforços mecânicos, pressão e degradação óptica etc);

ii) monitoração dos resíduos provenientes da perfuração (sensores espectrocópicos e fotoquímicos);

iii) imageamento em tempo real da superfície perfurada pela broca óptica (104); e

iv) sistema de geo-posicionamento para controle da direção da perfuração através dos sistemas mecânicos de posicionamento da broca óptica (104).

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos sensores (107) presentes no condutor de energia (103) proporcionarem:

i) monitoração das condições de operação do condutor de energia (103);

ii) medição de temperatura localizada, semi-distribuída e distribuída ao longo do condutor de energia (103);

iii) esforços mecânicos em regiões definidas e/ou de forma distribuída ao longo do condutor de energia (103); e

iv) análise espectroscópica dos materiais nas paredes do poço de modo localizado, semi-distribuído e distribuído ao longo do condutor de energia (103).

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelos sensores (107a) serem grupo de sensores localizados e semi-distribuídos

localizados ao longo do condutor de energia (103) e do duto de perfuração (170).

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelos sensores (107b) serem grupo de sensores distribuídos localizados ao longo do condutor de energia (103) e do duto de perfuração (170).
7. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo sistema laser (201) estar localizado junto à fonte de energia (102).
8. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo condutor (103) transportar a luz emitida pelo sistema laser (201) até a broca óptica (104), o dito condutor sendo constituído de fibra(s) óptica(s) de material vítreo ou cristalino, mono ou multi-modo, com perfis de índice de refração variados, dispostas ou não em grupo.
9. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do sistema laser (201) estar localizado junto à broca óptica (104) dentro do duto de perfuração (170), uma unidade (202) de controle e alimentação do sistema laser (201) alimentada pela fonte de energia (102) sendo instalada remotamente junto com a fonte de energia (102) e o sistema (105).
10. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo condutor (103) ser metálico e transportar eletricidade para a alimentação do sistema laser (201).
11. Sistema, de acordo com a reivindicação 1 ou 7 ou 9, caracterizado pelo(s) comprimento(s) de onda(s) de operação da luz laser de alta intensidade e regime do sistema laser (201) operarem em sintonia.
12. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo sistema (105) de refrigeração e retirada de resíduos ser hidráulico, pneumático ou misto hidráulico-pneumático e proporcionar a refrigeração e estabilização térmica:
    i) do condutor de energia (103) através de (20), tubulação para refrigeração ou trocador de calor; e

ii) de todos os sistemas integrados na ponta de perfuração (104) através de tubulação (14).

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pela tubulação (14) compreender dutos para injeção de fluidos para remoção de resíduos oriundos da ação laser e sucção da mistura dos fluídos injetados com os resíduos sólidos, os fluidos injetados e removidos sendo do mesmo tipo ou de tipos diferentes.

14. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a entrega da energia à superfície a ser perfurada é feita com auxílio de fibras ópticas condutoras (120) da luz laser de alta intensidade, sendo fisicamente a continuidade das fibras (123).

15. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato das fibras (120) serem fibras com menor divergência ou com divergência negativa na saída emendadas às fibras condutoras de energia (123).

16. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por ser empregado em operações de canhoneio em poços de óleo e gás.

17. Processo de perfuração de materiais sólidos com auxílio do sistema da reivindicação 1, caracterizado por compreender as etapas de:

a) fixar a broca óptica (104) à coluna de perfuração e posicionar dita broca perpendicularmente e a distância ótima da superfície a ser perfurada através da ação de controle executada pelo centro de controle e operação (101) e comandos de controle enviados à broca óptica (104) pelo barramento (19);

b) permitir que os sensores (106) da dita broca óptica efetuem i) a determinação das propriedades ópticas do material da superfície a ser perfurada (absorção, refletividade e emissão óptica); ii) o imageamento da superfície a ser perfurada; iii) a determinação da distância relativa entre a broca óptica (104) e a superfície a ser perfurada;

c) enviar estas informações ao centro de controle e operação (101) através do barramento (17) e utilizar as mesmas para a definição da distância ótima de operação;

d) enviar o parâmetro "distância ótima de operação" à broca óptica (104) através do barramento de controle (19) para que esta se posicione à distância estabelecida;

e) a partir das informações recebidas pelo centro de controle (101), definir desde este centro através de comando para refrigeração da broca óptica (104) e retirada de resíduos ao sistema de refrigeração e retirada de resíduos (105) através do barramento de controle (13), o fluxo inicial de fluídos para refrigeração e retirada de resíduos resultantes da ação laser na superfície a ser perfurada sendo feito através da tubulação (14);

f) efetuar com auxílio dos sensores (106), medição da temperatura da broca óptica (104) bem como a eficiência na remoção dos resíduos pelos fluídos de refrigeração e remoção de resíduos, respectivamente, enviando essas informações ao centro (101) via barramento (17);

g) enviar a partir do centro de controle e operações (101) comando de controle para a fonte de energia (102) via barramento (10) para que esta alimente o sistema laser (201) mediante o condutor de energia (103);

h) lançar a luz laser de alta intensidade gerada pelo sistema laser (201) na superfície a ser perfurada pela broca óptica (104), de modo que a interação da luz laser de alta intensidade com o material da superfície gera resíduos sólidos e/ou particulados, estes sendo removidos pelo sistema de refrigeração e remoção de resíduos (105); e

i) efetuar perfuração da superfície sob condições de perfuração otimizadas, com a broca óptica (104) se movendo na direção de perfuração perpendicular à superfície, a distância ótima sendo mantida pela definição em tempo real efetuada pelo centro de operações e controle (101) mediante monitoramento contínuo da superfície e seus materiais e dos resíduos resultantes da ação laser pelos sensores (106).

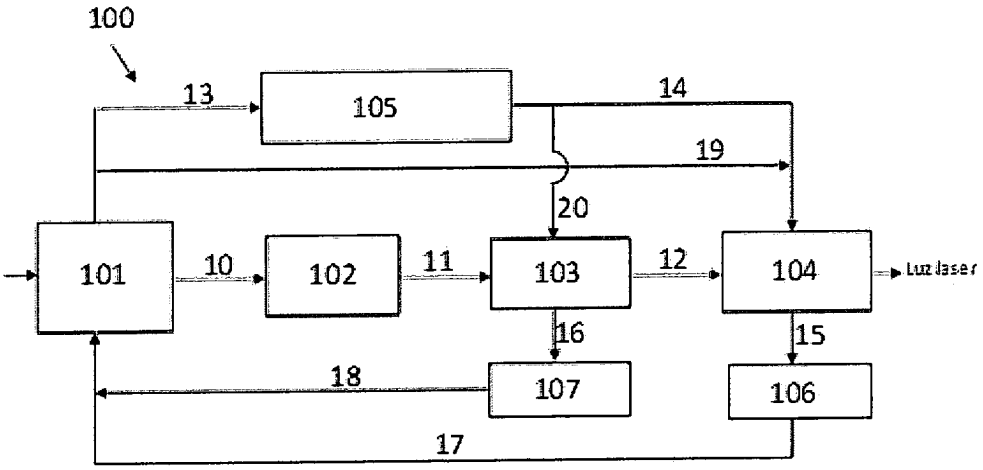
18. Processo, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato do sistema laser (201) estar disposto próximo à broca óptica (104), a fonte de energia (102) alimentando com eletricidade a fonte de energia laser (202) e o condutor de energia (103) é resfriado pelo sistema de

refrigeração e remoção de resíduos (105) via (20) e continuamente monitorado pelos sensores (107), a informação sendo enviada para o centro de controle e operações (101) pelo barramento (18).

19. Processo, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado por o(s) comprimento(s) de onda(s) de operação da luz laser de alta intensidade e regime do sistema laser (201) operarem em sintonia.

FIGURAS

Fig. 1



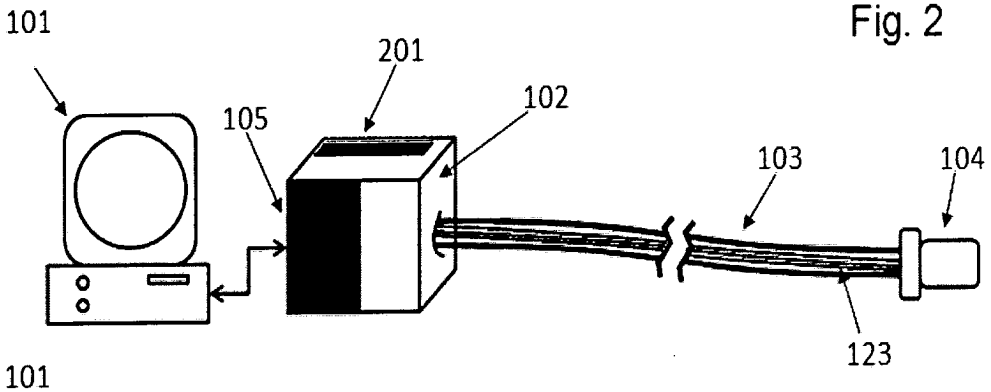


Fig. 2

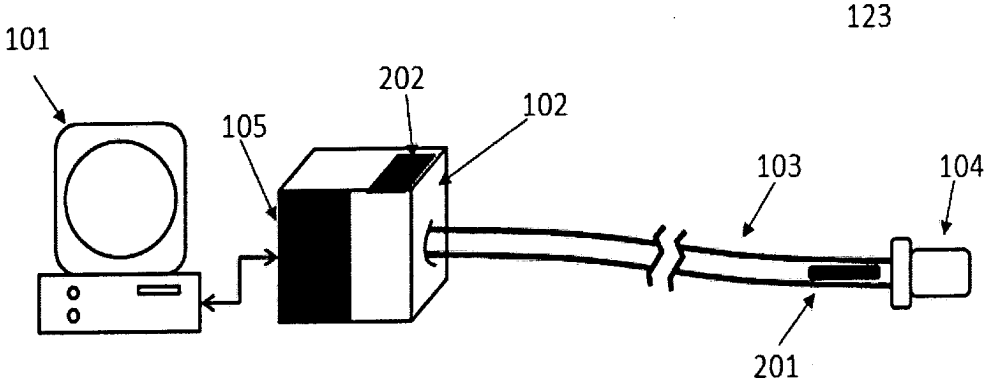


Fig. 3

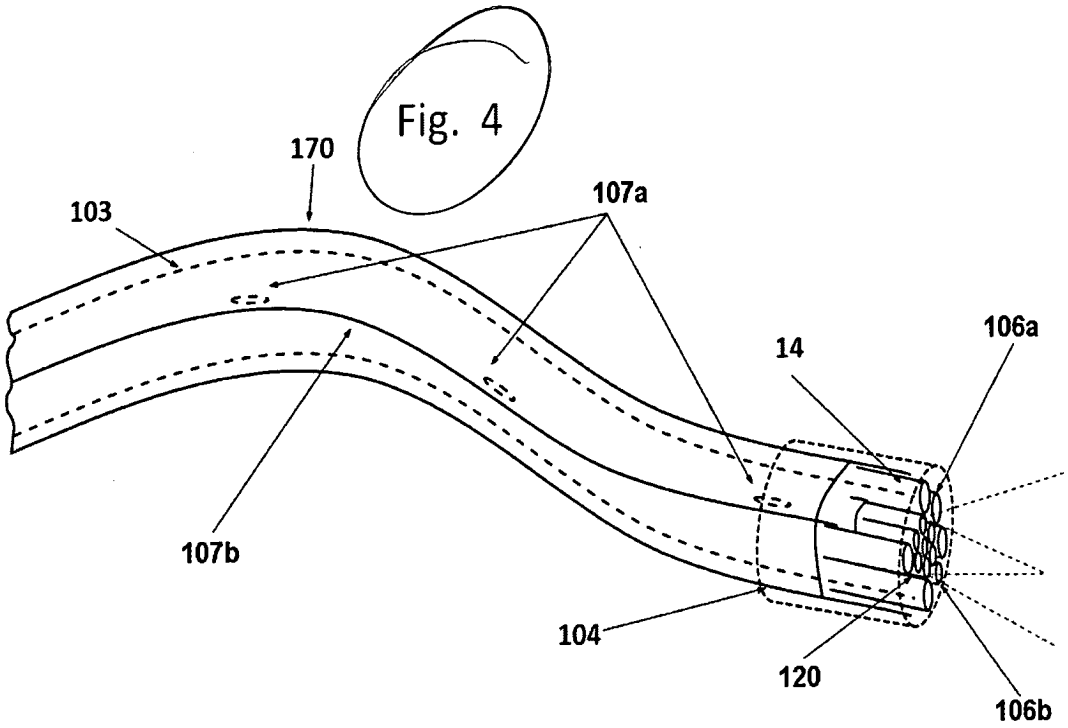


Fig. 4

PI0806638-8

Resumo

SISTEMA E PROCESSO DE PERFURAÇÃO A LASER

É descrito um sistema (100) de perfuração a laser para a perfuração de materiais sólidos, o sistema compreendendo uma broca óptica (104) dotada de sensores (106) que determinam parâmetros do processo de perfuração e enviam essas informações via barramento (17) a um centro de controle e operação (101), este sendo conectado a um sistema de refrigeração e a retirada de resíduos (105) via barramento (13) e a uma fonte de energia (102) via barramento (10), a fonte (102) sendo conectada via barramento (12) à broca óptica (104), de modo que uma vez determinados os parâmetros de processo com auxílio dos sensores (106) o centro de controle (101) inicia o processo de emissão de luz laser via sistema de laser (201) a energia laser sendo conduzida até a broca (104) que inicia o processo sob condições controladas em tempo real. O processo de perfuração a laser utilizando o sistema da invenção também é descrito. O sistema de perfuração efetua a perfilagem das propriedades físico-químicas e mecânicas do material do poço perfurado.