



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

(11) PI 1002337-2 B1

(22) Data do Depósito: 08/07/2010

(45) Data de Concessão: 14/02/2017



(54) Título: EQUIPAMENTO PARA PERFURAÇÃO A LASER

(51) Int.Cl.: E21B 7/00; B23K 26/00

(73) Titular(es): FACULDADES CATÓLICAS

(72) Inventor(es): ARTHUR MARTINS BARBOSA BRAGA; CICERO MARTELLI

“EQUIPAMENTO PARA PERFURAÇÃO A LASER”

Campo da invenção

[001] A presente invenção pertence ao campo dos equipamentos para perfuração a laser, mais especificamente a um tal equipamento compreendendo uma broca ótica e módulo de alimentação com lasers embarcados.

Antecedentes da Invenção

[002] Uma solução para os problemas associados ao uso de equipamento convencional de perfuração que emprega brocas de perfuração que compreendem um ou mais elementos mecânicos de corte foi o uso de raios laser como meio de furar poços em terra.

[003] Assim, a patente US 3.871.485 ensina um processo de perfuração usando um raio laser em que um gerador de raio laser conectado a um gerador de voltagem atuado por lama de perfuração ou outro líquido que passa através de um compartimento de raio laser conectado à coluna de perfuração é posicionado no furo de poço e um cristal refletor é posicionado no interior do compartimento de raio laser para refletir o raio em um formato elíptico através da formação a ser penetrada.

[004] A patente US 4.066.138 ensina um aparelho para perfurar a terra montado acima do solo que dirige para baixo um anel de energia laser de alta potência para perfurar um orifício cilíndrico pela fusão de regiões anulares sucessivas do estrato a ser penetrado em um nível de potência que estilhaça e ejeta sucessivas camadas do orifício.

[005] A patente US 4.113.036 ensina um método e sistema de perfuração a laser para recuperação de combustíveis fósseis em que um furo vertical é perfurado em uma formação subterrânea, um raio laser é projetado através do furo vertical e refletido horizontalmente a partir do orifício através da formação ao longo de uma matriz de furos.

[006] A patente US 4.090.572 ensina um processo e aparelho para o tratamento a laser de formações geológicas onde um raio laser é projetado através de um guia para o feixe de luz em um furo de poço ao longo de um guia de raio de modo a prover suficiente energia laser para fundir ou vaporizar as formações sob condições subterrâneas.

[007] Apesar de todas as vantagens associadas à utilização deste método 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 lasers em perfuração de poços não foi desenvolvida a níveis comerciais em função da ausência de lasers com potência mínima necessária para a perfuração eficiente e competitiva quando comparados aos equipamentos mecânicos.

[008] Outros problemas que limitaram a implementação prática da perfuração a laser de poços foram as dimensões dos lasers que impossibilitavam a sua inserção nos orifícios (poços) perfurados bem como a inexistência de condutores óticos (fibras óticas) eficientes (com baixas perdas por confinamento, alta transparência e controle da suscetibilidade 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.

[009] A patente US 5.107.936 ensina um processo de perfuração a quente que emprega raios laser como fonte de calor no qual o perfil do furo de poço é

derretido pela fonte de calor e a rocha fundida resultante é pressionada para a rocha lateral vizinha durante o processo de perfuração.

[010] No final da década de 90 e início dos anos 2000 sistemas lasers 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 lasers de alta potência (baseados em diferentes topologias e materiais ativos, por exemplo gás, corante, semiconductor, cristal, fibra ótica dopada ou não, etc.) o desenvolvimento das fibras óticas (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 constitui outro fator motivador da utilização da luz laser de alta intensidade para perfuração.

[011] Com a utilização de fibras óticas 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 óticas – condição que aumenta a eficiência do processo de perfuração.

[012] A este respeito, a literatura de patentes aponta os seguintes documentos mais recentes sobre o assunto.

[013] A patente U.S. 6.365.871 refere-se a método 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 método também é descrito.

[014] A patente U.S. 6.626.249 descreve 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.

[015] A patente U.S. 6.755.262 trata de aparelho de perfuração de poços que pode ser pelo menos parcialmente colocado em poço em perfuração. O aparelho inclui pluralidade de fibras óticas, cada uma das quais tem uma extremidade próxima de entrada de energia e uma extremidade distante de saída de energia da fibra ótica. Pelo menos uma lente focal está disposta na extremidade distante de saída de luz da fibra ótica. A lente focal é colocada para receber energia da extremidade distante de saída de luz de fibra ótica correspondente a pelo menos uma fibra ótica e focalizar a mesma para fora a partir da extremidade distante de saída de luz da fibra ótica.

[016] A patente U.S. 6.870.128 descreve método de perfuração de poços com raio laser, o método 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. A invenção 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.

[017] A patente U.S. 6.888.097B2 descreve um aparelho para a perfuração de paredes de poço, o aparelho incluindo um cabo de fibra ótica com uma extremidade para entrada de laser e uma extremidade para saída de laser. Uma fonte de laser é conectada à extremidade de entrada de laser e uma cabeça de laser é conectada à extremidade de saída de laser. A cabeça de laser inclui um componente de controle de laser para controlar pelo menos uma característica do raio laser. Elementos de controle na cabeça de laser para controlar o movimento e locação da cabeça de laser são conectados ao cabo de fibra ótica. A cabeça de laser é protegida em um compartimento, que protege o cabo de fibra ótica e elementos como refletores e lentes para controlar o raio laser emitido pelo cabo de fibra ótica ali disposto, do ambiente agressivo encontrado em operações subterrâneas.

[018] A patente U.S. 7.147.064 descreve um aparelho de perfuração para perfurar um poço tendo um conjunto de broca de perfuração que inclui uma montagem de corte a laser e uma montagem para vácuo. A montagem para vácuo é adaptada para coletar vapores gerados pela montagem de corte a laser próxima ao conjunto de broca de perfuração durante a operação do aparelho de perfuração. Os vapores coletados podem então ser processados por um analisador cromatográfico para determinar as características da formação rochosa sendo perfurada.

[019] Na patente U.S. 7.487.834 é descrito um método para perfuração de poços com laser de alta potência destinado a prover um raio laser à zona de produção do poço para perfurar o revestimento, o cimento, e formar penetrações de alta permeabilidade na formação de rocha reservatório para aumentar o fluxo de gás e/ou óleo para o poço. O raio laser é provido a um perfurador laser posicionado na zona de produção por um cabo a fibra ótica, o cabo sendo inclinado de cerca de 90 graus e formatado na orientação e perfil de raio desejados. Um bico cortante na ponta do perfurador provê um fluxo de limpeza para 1) remover do poço as gotículas de metal fundido, e os

fragmentos de cimento e rocha quebrados que podem bloquear o raio laser e
2) criar um caminho livre através dos líquidos do poço permitindo que o raio atinja a superfície alvo durante a perfuração.

[020] A patente U.S. 7.416.258 descreve equipamento e método para usar lasers na quebra e perfuração de rochas. Um grupo de raios lasers são manobrados de modo controlável por uma chave eletro-ótica para locações sobre a superfície da rocha, criando orifícios múltiplos e removendo uma camada de rocha de diâmetro desejado. Um único raio laser de irradiância de cerca de 1000 a 5000 W/cm² quebra a rocha. Remoção de rocha tridimensional é realizada pela quebra de camadas consecutivas com movimento intermitente da cabeça de laser perpendicular à superfície de rocha recém perfurada.

[021] O pedido publicado norte-americano US 20100078414 A1 trata de um aparelho para perfuração subterrânea tendo pelo menos uma fibra ótica par transmitir energia luminosa de uma fonte de energia laser disposta acima do solo em direção a uma locação de perfuração subterrânea e uma broca mecânica tendo pelo menos uma superfície cortante e formando pelo menos um canal de transmissão de luz alinhado para transmitir luz a partir da pelo menos uma fibra ótica através da broca mecânica utilizando pelo menos um canal de transmissão de luz. É alegado que o equipamento desenvolvido é especialmente adequado para poços não verticais.

[022] O pedido brasileiro publicado PI0806638-8 (Sistema e Método de Perfuração Laser), dos mesmos autores do presente documento, descreve uma broca ótica (104) integrada a um sistema de perfuração laser. No entanto, este pedido de patente não descreve o detalhamento da dita broca.

[023] Importa ressaltar que mesmo nas invenções que propõem a utilização de fibra(s) ótica(s) para entregar luz laser de alta intensidade em regiões de fundo de poço não há 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, que é responsável por atenuar luz guiada, degradar as transparências da fibra e, dependendo da densidade de energia e/ou energia de pico dentro da fibra, pode levar a dano permanente da fibra ótica. Este problema é clássico dentro da ótica 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.

[024] Entre as várias tecnologias lasers, importa ressaltar o desenvolvimento do laser a fibra ótica onde a luz laser de alta intensidade é gerada dentro da própria fibra ótica. Este laser é compacto e geralmente não requer refrigeração mesmo quando operando com altas intensidades ($\geq kW$). Ademais, as perdas por acoplamento da luz na saída do laser, com fibra ótica 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.

[025] No que tange ao comprimento de onda da luz laser, observa-se a disponibilidade comercial de sistemas lasers de alta potência com comprimentos de onda variados (do ultravioleta ao infravermelho), dependendo do elemento ativo e do projeto da cavidade laser, e lasers 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.

[026] Seria, portanto, vantajoso que a técnica dispusesse de um equipamento de perfuração a laser capaz de gerar luz de alta intensidade, tal luz sendo guiada através de fibras óticas até uma broca ótica, tal broca sendo o componente mecânico que suporta as fibras óticas, fornece controle geométrico à ação da luz de alta intensidade e promove a interface do sistema de perfuração com a superfície a ser perfurada.

Sumário da invenção

[027] De um modo amplo, o equipamento de perfuração a laser conforme a invenção compreende:

a) Um módulo ótico de alimentação, constituído de um conjunto de sistemas laser a fibra ótica, ativa, em forma de bobina oca, a excitação do meio ativo do laser sendo feita através do acoplamento da luz emitida por diodos lasers para dentro da fibra ativa, dítos diodos sendo conectados da forma mais eficiente à bobina de formato anular contendo a fibra ativa considerando o espaço disponível e a transferência de calor necessária para manter a temperatura de operação dos diodos; e

b) Uma broca ótica com corpo rígido e oco e extremidade de qualquer geometria, dita broca sendo dotada de orifícios vazantes para a conexão de fibras óticas ou *bundle* de fibras óticas com as paredes da broca e orifícios para permitir que fluídos de perfuração e refrigeração sejam lançados na superfície a ser perfurada, as fibras óticas ou *bundle* de fibras óticas sendo provenientes do dito módulo de alimentação,

onde o módulo ótico de alimentação é responsável pela geração de luz de alta intensidade que através das fibras óticas é guiada até a broca ótica, o dito módulo de alimentação e a broca ótica sendo acoplados a uma coluna de perfuração.

[028] Para a extremidade com geometria esférica da dita broca, é determinado um ângulo α a partir de linha traçada no centro da esfera e perpendicular à direção da conexão do corpo da Broca Ótica com a coluna de perfuração até a intersecção da esfera com o restante do corpo da broca. Este ângulo define o ângulo máximo de operação da Broca Ótica e conseqüentemente a inclinação máxima do poço ou furo perfurado.

[029] Assim, a invenção provê um equipamento para perfuração a laser onde o sistema laser é responsável pela geração de luz de alta intensidade que através de fibras óticas é guiada até a broca ótica, esta sendo o componente mecânico que suporta as fibras óticas, fornece controle geométrico à ação da luz de alta intensidade e promove a interface do sistema de perfuração com a superfície a ser perfurada.

[030] A invenção provê ainda um equipamento para perfuração a laser com número reduzido de partes mecânicas móveis presentes no sistema de perfuração.

[031] A invenção provê um equipamento para perfuração a laser que reduz significativamente a necessidade de rotação da coluna, com grande vantagem operacional.

[032] A invenção provê também um equipamento para perfuração a laser apto a efetuar monitoração *in situ* do processo de perfuração, com aumento do controle do processo.

[033] A invenção provê ainda um equipamento para perfuração a laser com capacidade de perfurar diferentes materiais sem a necessidade de substituir a broca.

[034] A invenção provê também um equipamento para perfuração a laser onde dependendo do material a ser perfurado diferentes comprimentos de onda da luz laser são acionados para aumentar a eficiência da perfuração.

[035] A invenção provê ainda um equipamento para perfuração a laser onde é possível utilizar diferentes regimes de operação como contínuo ou pulsado.

[036] A invenção provê também um equipamento para perfuração a laser com custos reduzidos de manutenção.

[037] A invenção provê ainda um equipamento para perfuração a laser onde os riscos de movimentação tectônica, causados pela perfuração são reduzidos devido à ausência de contato entre a broca ótica e a superfície a ser perfurada.

[038] A invenção provê também um equipamento para perfuração a laser onde as dimensões do sistema de perfuração são menores e este é também mais leve do que os sistemas tradicionais.

[039] A invenção provê ainda um equipamento para perfuração a laser onde de maneira geral é possível manter maior controle da profundidade de perfuração e da direção de perfuração.

[040] A invenção provê também um equipamento para perfuração a laser onde devido ao aumento da resistência mecânica das paredes do poço perfurado mediante vitrificação da superfície das paredes, é razoável especular sobre redução da necessidade de revestimento durante a perfuração.

[041] A invenção provê ainda um equipamento para perfuração a laser que permite o controle de direcionalidade na perfuração através do formato da broca, onde o controle do ângulo α possibilita que a broca perfure buracos a α graus da linha média da broca.

[042] A invenção provê também um equipamento para perfuração a laser com controle individual dos lasers que alimentam os pontos de interação da luz com a superfície, de modo a determinar a direção da perfuração ligando ou desligando os lasers em regiões específicas da broca conforme necessidade.

Breve descrição dos desenhos

[043] A FIGURA 1 anexa é um corte da broca ótica do equipamento de perfuração da invenção mostrando a cabeça e o corpo da mesma.

[044] A FIGURA 2 anexa é uma vista de sistemas laser que são inseridos no módulo ótico de alimentação do equipamento de perfuração da invenção.

[045] A FIGURA 3 anexa é um corte geral do equipamento montado em uma coluna de perfuração, com módulo ótico de alimentação e broca ótica.

Descrição detalhada da invenção

[046] A invenção trata, pois, de um equipamento para perfuração a laser onde sistemas laser são responsáveis pela geração de luz de alta intensidade que através de fibras óticas é guiada até a broca ótica, esta sendo o componente mecânico que suporta as fibras óticas e promove a interface do sistema de perfuração com a superfície a ser perfurada.

[047] O equipamento para perfuração de poços de petróleo conforme a invenção, formado por módulo ótico de alimentação e broca ótica, pode ser diretamente integrado a sistemas convencionais de perfuração e pode operar a qualquer profundidade.

[048] O módulo ótico de alimentação é alimentado por condutor metálico de eletricidade, dito módulo sendo constituído por conjunto de sistemas laser, que geram a luz com alta intensidade para perfuração, e é acoplado entre a coluna de perfuração e a broca, conforme pode ser visto na Figura 3. A luz emitida pelos sistemas laser é conduzida até a broca ótica através de fibras óticas.

[049] A flexibilidade mecânica na condução da energia responsável pela perfuração até a broca ótica, proporcionada pelas fibras óticas permite a

idealização de virtualmente qualquer formato para a extremidade da broca ótica.

[050] De acordo com o conceito da presente invenção, para cada ponto de interação da luz laser com a rocha a ser perfurada existe uma fibra ótica fornecendo luz laser de alta intensidade. Associado a cada fibra pode haver um sistema laser ou múltiplos sistemas laser combinados produzindo a luz para perfuração. Todos os sistemas laser utilizados na perfuração são embarcados junto à broca em dispositivo em forma de cilindro constituído de tubo padrão empregado na coluna de perfuração com as modificações internas necessárias para acondicionar os sistemas laser. Assim, os sistemas laser com o cilindro suporte formam o chamado Módulo Ótico de Alimentação. Portanto, a função principal deste Módulo Ótico de Alimentação é a geração e o fornecimento de luz laser de alta intensidade para a broca ótica.

[051] A Figura 3 mostra o Módulo Ótico de Alimentação acoplado à broca ótica.

[052] Vantajosamente, a característica modular do equipamento da invenção facilita a implementação do mesmo uma vez que cada parte pode ser desenvolvida e testada independentemente. Por exemplo, é possível desenvolver primeiramente um sistema laser modular que possa operar dentro de um cilindro e nas condições de pressão e temperatura encontradas no fundo de um poço e que ainda tenha condições de gerar energia luminosa suficiente para a perfuração de uma rocha. Com este sistema laser (que corresponde a apenas um ponto de interação da luz laser com a rocha na broca ótica) estima-se a área efetiva de ação sobre a rocha e conseqüentemente determina-se o número de pontos ativos na broca ótica, o que corresponde diretamente ao número de sistemas laser do módulo ótico de alimentação.

[053] Além disso, é possível avaliar detalhes construtivos do acoplamento da fibra ao sistema laser e da fibra à broca ótica.

[054] Ainda vantajosamente, *i)* o fato de ter o sistema laser embarcado junto à broca ótica reduz significativamente a complexidade do equipamento de perfuração; *ii)* problemas com a fragilidade mecânica da fibra ótica, perda das propriedades óticas com a difusão de hidrogênio, para o caso de fibras de sílica, bem como limitações com o nível de potência transmitida sobre longas distâncias (responsável pela indução de fenômenos não-lineares) etc. são eliminados.

[055] Por outro lado, é necessário que os sistemas laser, que estarão embarcados junto à broca, suportem a operação em condições pouco convencionais, altas pressões hidrostáticas externas e temperaturas elevadas. Além disso, eles devem ser acondicionados em espaços reduzidos como o interior do duto de perfuração. Obviamente os sistemas laser devem, mesmo assim, ter condições de gerar energia suficiente para promover a perfuração eficiente de rochas.

[056] Com base nestas premissas, envolvendo condições de operação e níveis de energia necessários, as pesquisas dos Requerentes levaram ao desenvolvimento de um sistema laser encapsulado em forma de anel ou bobina que é apresentado na Figura 2. Ele consiste em um laser a fibra ótica de alta potência, o laser sendo bombeado por diodos emissores de luz laser. A luz emitida por vários diodos é combinada para excitar o meio ativo do laser a fibra ótica e assim produzir luz laser com alta intensidade e alta coerência temporal e espacial, condição *sine qua non* para focalização da luz na saída da fibra.

[057] O formato em anel ou bobina com os diodos de bombeio posicionados sobre uma metade da superfície do anel confere característica modular ao projeto do sistema laser. Isto permite que os sistemas lasers sejam montados uns sobre os outros dentro do duto de perfuração formando o Módulo Ótico de Alimentação, conforme Figura 2 e Figura 3.

[058] O formato em anel também possibilita a circulação do fluido de perfuração através dos sistemas lasers o que, além de conferir compatibilidade com o restante do equipamento de perfuração, onde o fluido circula por dentro da coluna de perfuração, auxilia na refrigeração dos lasers.

[059] A luz gerada pelos lasers pode ser conduzida até a broca ótica por fibras óticas difrativas cujas propriedades são ideais para o transporte de altas densidades de energia. Estas fibras também têm alta resistência a danos em suas interfaces.

[060] Importa ressaltar que a ideia de utilizar laser a fibra ótica bombeado por diodos é simplesmente motivada pela qualidade ótica da luz emitida por este tipo de lasers. Uma alternativa para a presente invenção é conectar os diodos diretamente à fibra e utilizar a luz produzida por eles para perfurar, sem a necessidade da configuração com laser a fibra.

[061] A broca ótica, de modo geral, é formada por estrutura metálica, com dimensões e formas específicas de extremidade para cada processo de perfuração, onde fibras óticas que transportam a luz laser de alta intensidade são acopladas na parede interna da extremidade da dita broca e fornecem luz de alta intensidade para a perfuração.

[062] A broca ótica admite ser configurada em qualquer dimensão ou com extremidade em formato físico necessários para os diferentes cenários de perfuração. Os formatos da extremidade da broca vão depender do tipo de solo ou rocha a ser perfurado, do tipo de perfuração a ser executada, do diâmetro da perfuração, da profundidade do poço ou furo e da curvatura e/ou angulação do poço ou furo resultante.

[063] A broca ótica apresentada na Figura 1 é exemplo de broca para perfuração de poços com diâmetro de 8". Cada canal onde as fibras óticas são fixas está perpendicular à tangente da superfície da broca no ponto de

intersecção. Isto garante que a luz incide perpendicularmente à superfície a ser perfurada em toda a superfície circunferencial da broca.

[064] O número de canais para conexão de fibras, ou seja, pontos de interação da luz laser com a rocha a ser perfurada, depende da área superficial da broca e da eficiência individual de cada laser no processo de perfuração.

[065] A eficiência de perfuração é dada de modo simplificado pela massa de rocha removida dividida pela energia despendida no processo de perfuração.

[066] Duas características do presente projeto de broca permitem o controle de direcionalidade na perfuração. O primeiro é através do formato da extremidade da broca ótica. Conforme mostrado na Figura 1, a simetria esférica da extremidade da broca ótica permite, mediante controle do ângulo α (parâmetro construtivo), que a broca perfure furos a α graus da linha média da broca.

[067] Outra característica que permite o controle de direcionalidade é o controle individual dos sistemas laser que alimentam os pontos de interação da luz com a superfície. É possível determinar a direção em que se deseja perfurar ligando ou desligando os sistemas laser conectados por fibra óticas a regiões específicas da broca conforme necessidade. Assim, tal como nas operações de canhoneio, esta invenção pode ser utilizada para perfurar furos perpendiculares ao eixo da broca, através da formação e ultrapassando o revestimento e a região de cimentação, para permitir o fluxo de petróleo ou gás do reservatório para o poço revestido.

[068] O projeto da broca prevê ainda canais para a saída do fluido de perfuração conforme mostrado na Figura 1.

[069] A invenção será descrita a seguir por referência às Figuras anexas, sem, no entanto, limitar a mesma às configurações ilustradas.

[070] A Figura 1 ilustra a broca ótica (100) do equipamento da invenção. Nesta Figura, a dita broca tem uma extremidade (130) de qualquer formato, aqui ilustrada como esférica como uma modalidade possível entre outras e um corpo tubular (140).

[071] O ângulo α mencionado acima é medido a partir de linha traçada no centro da esfera e perpendicular à direção da conexão do corpo da broca ótica (100) com a coluna de perfuração até a intersecção da esfera com o restante do corpo da broca. Este ângulo define o ângulo máximo de operação da broca ótica (100) e conseqüentemente a inclinação máxima do poço ou furo perfurado.

[072] Orifícios vazantes estão presentes na extremidade (130) da broca ótica (100), sendo os orifícios (110) empregados para a conexão de fibras óticas ou *bundle* de fibras óticas com as paredes da extremidade da broca ótica e os orifícios (120) para permitir que os fluidos de perfuração e refrigeração sejam lançados na superfície a ser perfurada.

[073] O número de orifícios (110) para a conexão de fibras óticas ou *bundle* de fibras óticas é determinado a partir da área perfurada por cada fibra ótica ou *bundle* de fibras óticas de forma que toda a superfície da extremidade (130) da broca ótica em forma de esfera possa ter condições de exercer a função de perfurar.

[074] O interior da broca ótica (100) é oco, possibilitando a passagem das fibras óticas ou *bundle* de fibras óticas (não representadas) condutoras de energia ótica para a perfuração e sua conexão com os orifícios vazantes (110) e também fluxo de fluidos de perfuração e refrigeração pelos orifícios vazantes até serem lançados na superfície a ser perfurada (120).

[075] A Figura 2 ilustra os sistemas laser usados no equipamento da invenção.

[076] Para que os sistemas laser (200), que são as fontes de luz de alta intensidade empregadas na perfuração a laser, possam ser integrados à coluna de perfuração, eles precisam ser construídos com formato específico. Além de serem eficientes fontes de geração de luz de alta potência, os sistemas laser precisam ser acondicionados no interior de tubos da coluna de perfuração e ainda permitir que o fluido de perfuração passe através deles. A arquitetura mais adequada para este tipo de necessidade é a de lasers a fibra ótica. Neste tipo de laser, a fibra dopada com íon de terra rara, que constitui o meio ativo, é flexível e pode ser enrolada formando bobina oca (210) conforme mostrado na Figura 2.

[077] A excitação do meio ativo do laser, a fibra ótica dopada, é feita através do acoplamento da luz emitida por diodos lasers (220) para dentro da fibra ativa. Os diodos lasers (220) são chamados de diodos de bombeio.

[078] No projeto apresentado na Figura 2 os diodos lasers (220) são conectados perpendicularmente à bobina (210) de fibra ativa. Assim, o interior do laser (200) é completamente oco. Este formato privilegia principalmente a dissipação térmica do processo de conversão eletro-ótico dos diodos de bombeio. Essa configuração utiliza o próprio fluido de perfuração como agente de controle e estabilização da temperatura.

[079] É possível ainda que fluidos específicos para resfriamento sejam injetados no interior da coluna de perfuração para garantir o controle de temperatura dos sistemas laser.

[080] A posição dos diodos lasers (220) relativamente à bobina (210) de fibra ótica ativa permite que dois sistemas lasers (200) sejam acoplados conforme indicado na Figura 2 fazendo o conjunto ainda mais compacto.

[081] O módulo ótico de alimentação é composto pela pluralidade de sistemas laser (200) a fibra ótica cuja luz emitida é levada até a broca ótica (100) pelas fibras óticas (320) (Vide Figura 3).

[082] Dezenas de sistemas laser (200) podem ser empilhadas ao longo de tubo da coluna de perfuração conforme a necessidade, para perfuração eficiente.

[083] Cada laser (200) é controlado de forma independente possibilitando que diferentes regimes de perfuração, pulsado e contínuo, por exemplo, sejam empregados na perfuração.

[084] A Figura 3 mostra ilustração do conceito do equipamento (300) da invenção onde podem ser observados: a broca ótica (100), o módulo ótico de alimentação, energizado a partir da superfície por meio de um cabo elétrico (330) e formado pelo conjunto de sistemas laser (200) e as fibras óticas (320) conectando cada sistema laser (200) a um ponto específico na parede interna da extremidade (130) da broca ótica (100). Cada ponto de conexão entre a broca ótica (100) com as fibras óticas (320) é um canal de comunicação com a superfície externa da broca (100) e perpendicular à superfície a ser perfurada, assim, a fibra ótica (320) fornece luz de alta intensidade diretamente sobre a superfície.

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

Reivindicações

1. Equipamento para perfuração a laser, caracterizado por compreender:
 - a) um módulo ótico de alimentação (310), composto por uma pluralidade de sistemas laser (200), cada um dos sistemas laser (200) sendo constituído de fibra ótica flexível, enrolada em forma de bobina oca (210), e diodos lasers (220) conectados perpendicularmente à dita bobina (210) de fibra ativa; e
 - b) uma broca ótica (100), a broca sendo dotada de: uma extremidade (130) com orifícios (110) e (120), e de um corpo (140),

onde: *i)* o módulo ótico de alimentação é responsável pela geração de luz de alta intensidade que através das fibras óticas (320) é guiada até a broca ótica (100), e *ii)* o módulo ótico de alimentação e a dita broca ótica (100) são acoplados a uma coluna de perfuração.

2. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela geometria dos sistemas laser (200), com formato de anel (210) contendo bobina de fibra ótica ativa, e pela disposição dos diodos laser (220) conectados transversalmente a estes anéis ao longo de metade de suas circunferências conferir aos mesmos característica modular com possibilidade de montar ditos sistemas laser uns sobre os outros na coluna de perfuração.

3. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo formato geométrico da extremidade (130) da broca ótica (100) ser qualquer.

4. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a extremidade (130) da broca ótica (100) ter formato esférico.

5. Equipamento de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por a extremidade (130) da broca ótica (100) apresentar um ângulo α que define o ângulo máximo de operação da dita broca ótica (100).
6. Equipamento de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por o ângulo α ser determinado a partir de linha traçada no centro da esfera e perpendicular à direção da conexão do corpo da broca ótica (100) com a coluna de perfuração até a intersecção da extremidade (130) esférica com o restante do corpo (140) da broca (100).
7. Equipamento de acordo com a reivindicação 5 caracterizado pelo controle direcional da inclinação do furo perfurado ser exercido pela geometria esférica da extremidade (130) da broca ótica (100), onde o ângulo α determinado a partir de linha traçada no centro da esfera e perpendicular à direção da conexão do corpo da broca ótica (100) com a coluna de perfuração até a intersecção da extremidade (130) esférica com o restante do corpo (140) da broca ótica (100) possibilita a perfuração de furos com inclinações de até α graus em relação à linha média da mesma.
8. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por prover, para cada ponto de interação da luz laser com a rocha a ser perfurada, uma fibra ótica (320) fornecendo luz laser de alta intensidade.
9. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a cada fibra ótica (320) ser associado um sistema laser (200) ou múltiplos sistemas laser (200) combinados produzindo a luz para perfuração.
10. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o controle dos lasers (200) que alimentam os pontos de interação da luz com a superfície ser individual de modo a determinar a direção da perfuração ligando ou desligando os ditos lasers em regiões específicas da broca (100) conforme necessidade.

11. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por os ditos orifícios (110) serem destinados à conexão de fibras óticas (320) ou *bundle* de fibras óticas com as paredes da extremidade (130) da broca ótica (100), enquanto os orifícios (120) se destinam a permitir que os fluidos de perfuração e refrigeração sejam lançados na superfície a ser perfurada.

12. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por cada orifício (110) onde as fibras óticas são fixas ser perpendicular à tangente da superfície da extremidade (130) da broca ótica (100) no ponto de intersecção, garantindo a incidência da luz de modo perpendicular à superfície a ser perfurada em toda a superfície circunferencial da dita broca ótica.

13. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o número de orifícios (110) ser determinado a partir da área perfurada por cada fibra ótica ou *bundle* de fibras óticas de forma que toda a superfície da extremidade (130) em forma de esfera da broca ótica (100) esteja habilitada para a função de perfurar.

14. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a broca ótica (100) ser o componente mecânico que suporta as fibras óticas (320), fornece controle geométrico à ação da luz de alta intensidade e promove a interface do dito equipamento de perfuração (300) com a superfície a ser perfurada.

15. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, onde os sistemas laser (200) do módulo ótico de alimentação são caracterizados pela conexão eficiente dos diodos laser (220) ao anel contendo a bobina de fibra ativa (210) ser efetuada considerando o espaço disponível e a transferência de calor necessária para manter a temperatura de operação dos ditos diodos lasers (220).

16. Equipamento de acordo com a reivindicação 1 caracterizado por alternativamente os diodos laser (220) serem conectados diretamente às fibras óticas (320) e a luz gerada pelos mesmos ser utilizada para a perfuração, dispensando o uso de fibras ativas nas bobinas encapsuladas nos anéis (210) dos sistemas laser do módulo ótico de alimentação (200).

17. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o regime de operação ser do tipo pulsado.

18. Equipamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o regime de operação ser do tipo contínuo.

FIG. 1

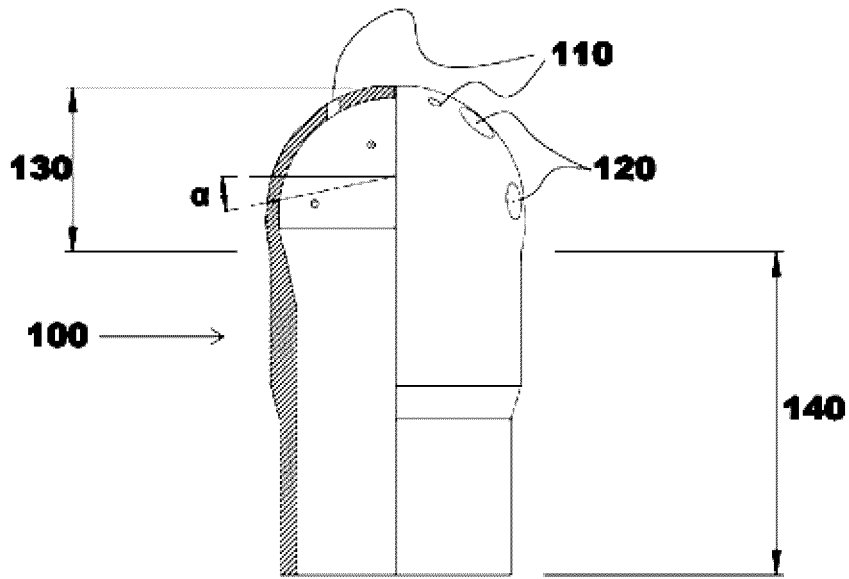


FIG. 2

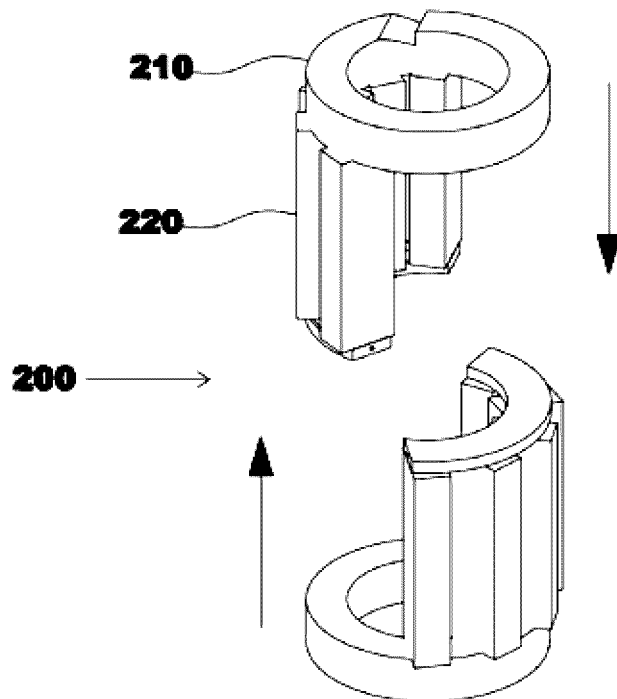


FIG. 3

