

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

(21) **PI0800511-7 A2**



\* B R P I 0 8 0 0 5 1 1 A 2 \*

(22) Data de Depósito: 20/02/2008  
(43) Data da Publicação: 21/12/2010  
(RPI 2085)

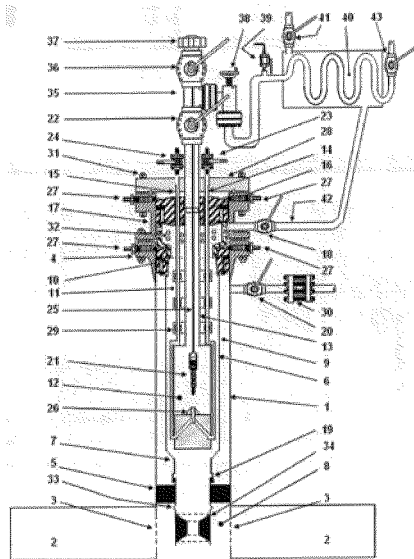
(51) *Int.Cl.:*  
E21B 21/14

(54) Título: **SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO**

(73) Titular(es): ENGEPET - Empresa de Engenharia de Petróleo Ltda

(72) Inventor(es): Masao Miyaji, Zadson de Almeida Franco

(57) Resumo: SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO. Refere-se a presente invenção a um processo de geração de vapor, no fundo do poço, com retorno dos gases da combustão para a superfície em contra fluxo com a água que irá transformar-se em vapor num processo termodinâmico de transferência de calor. Esse vapor será injetado na formação portadora de hidrocarbonetos (2). A água será conduzida até o fundo do poço através de anular (11) formado por duas colunas concêntricas (6) e (13) e os gases da combustão retornam, desde a câmara de combustão (12), para a superfície através da coluna (13) mais interna. O combustível e o comburente são conduzidos, individualmente, até o bico misturador (26) da câmara de combustão (12) através de duas colunas (14) e (15), que descem pelo anular entre as colunas concêntricas (6) e (13). O processo de ignição será feito através de um ignidor/sensor de temperatura (21) que será levado até a câmara de combustão (12) na extremidade de um cabo elétrico (25). A grande vantagem sobre os processos convencionais de injeção de vapor com o objetivo de recuperação de petróleo, é a economia de energia. Outra vantagem é a redução da energia para injeção do vapor que, nos processos convencionais é injetado como um fluido de baixíssimo peso específico desde a superfície até o fundo do poço (baixa pressão hidrostática), enquanto no processo proposto, é injetada água (fluido de elevado peso específico em comparação com o vapor) que só irá se transformar em vapor mais próximo do fundo do poço. Onde elevadas vazões de vapor são necessárias, poços especialmente projetados serão perfurados conforme FIGURA 2 com revestimento composto (1) e (44) para receberem as colunas (6), (13), (14) e (15) e a câmara (12) com a geometria necessária. A utilização de um orifício ajustável (38) conforme FIGURA 1, permitirá um controle do perfil de temperatura, dentro do poço permitindo uma otimização do processo termodinâmico, o mesmo acontecendo com a utilização de um orifício (34) na extremidade da coluna (6) que irá evitar uma evaporação prematura da água nos poços que recebem com baixa pressão.





**“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO  
PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**

Refere-se a presente invenção a um processo de geração de vapor, no fundo do poço, com retorno dos gases da combustão para a superfície em contra fluxo com a água que irá transformar-se em vapor num processo termodinâmico de troca de calor. Esse vapor será injetado na formação portadora de hidrocarbonetos (2).

A água será conduzida até o fundo do poço através de anular (11) formado por duas colunas concêntricas (6) e (13) e os gases da combustão retornam, desde a câmara de combustão (12), para a superfície através da coluna mais interna (13).

O combustível e o comburente são conduzidos, individualmente, até a câmara de combustão (12) através de duas colunas (14) e (15), que descem pelo anular (11) entre as colunas concêntricas.

O processo de ignição será feito através de um ignidor/sensor de temperatura (21) que será levado até a câmara de combustão (12) na extremidade de um cabo elétrico (25).

A grande vantagem sobre os processos convencionais de injeção de vapor com o objetivo de recuperação de petróleo, é a economia de energia.

Dentre os métodos térmicos para recuperação de petróleos de alta viscosidade, a injeção de vapor, de forma contínua ou cíclica, é o mais difundido.

O método utilizado mais freqüentemente é aquele que o vapor é produzido, na superfície, num gerador de vapor e conduzido até o poço ou poços injetores e através destes até a formação portadora de hidrocarbonetos (2). A perda de energia durante o percurso do vapor desde o gerador até o poço e, no poço, desde a superfície até a formação portadora de hidrocarbonetos (2) é grande. O gerador de vapor de fundo de poço visa maximizar o aproveitamento da energia térmica resultante da combustão.

A distância entre o sítio onde estão instalados os geradores de vapor e o poço injetor, mais o percurso desde a cabeça do poço até a formação portadora de hidrocarbonetos (2), faz com que a injeção de vapor seja transformada, em alguns casos, em injeção de água quente.

5 Esse gerador de vapor colocado no fundo do poço possibilitará aproveitar, praticamente, toda a energia térmica gerada pela combustão.

Nesse processo, o poço é transformado em um trocador de calor em que o calor gerado dentro da câmara de combustão (12) no fundo do poço é transferido para a água e por esta carreado para a  
10 formação portadora de hidrocarbonetos (2).

Algumas tentativas para minimizar a perda de energia do processo que se caracterizam por injetarem na formação portadora de hidrocarbonetos (2), junto com o vapor, os gases de combustão foram propostas. No entanto, devido às dificuldades e riscos operacionais o  
15 seu uso não foi disseminado.

Para atender as condições do processo proposto, foi desenvolvido o esquema para equipar os poços representados pela **FIGURA 1**.

A invenção poderá ser melhor compreendida através da  
20 descrição detalhada do processo em consonância com a **FIGURA 1**:

Na **FIGURA 1**, o revestimento (1) mais interno é o tubo de aço que reveste o poço desde a superfície até a formação portadora de hidrocarbonetos (2) que será submetida à injeção de vapor e tem seu interior em contato com esta formação (2) através de furos  
25 (canhoneados) (3). Os outros revestimentos mais externos e mais curtos não foram representados por não serem relevantes ao processo que estamos descrevendo. Na superfície, no topo do revestimento (1), esta conectada a cabeça de revestimento (4) em alguns casos chamada de cabeça de produção e que tem a função básica de servir de ponto de  
30 apoio para ancorar, manter suspensos, os equipamentos a serem descidos no poço. Esses componentes descritos até agora fazem parte do esquema básico de um poço perfurado nos campos de petróleo com

as mais diversas finalidades.

Para compor a configuração necessária aos objetivos do processo, dentro do revestimento (1) é descida uma coluna (6) com um obturador térmico (5), conhecido na indústria do petróleo como “packer térmico”. Imediatamente abaixo do obturador térmico (5) é descido um nipple (33) para assentamento de tampão provisório para realização de teste de estanqueidade da coluna (6). Logo acima do obturador térmico (5), são instaladas juntas de expansão térmica (19) que têm a função de absorver as variações de comprimento da coluna externa (6) decorrente de variações de temperatura. A redução (7) compatibiliza a extremidade da coluna externa (6) com as juntas de expansão térmica (19). O Obturador Térmico (5) tem a finalidade de promover o isolamento entre a câmara (8) e o anular (9) entre a coluna externa (6) e o revestimento (1). A coluna externa (6) fica suspensa na cabeça de revestimento (4) através do suspensor de coluna (10) que também promove a vedação do anular (9) formado pelo revestimento do poço (1) e a coluna externa (6) no nível da cabeça de revestimento (4), isolando-o do contato com os fluidos do anular (11).

Dentro da coluna externa (6), na extremidade da coluna interna (13) é descida a câmara de combustão (12). A coluna interna (13) é o duto por onde retornarão para a superfície os gases da combustão que ocorre, durante o processo, na câmara de combustão (12) e está suspensa através do suspensor de coluna (16) que por sua vez está apoiada sobre o suspensor de coluna (10). O acesso ao interior da coluna interna (13) é controlado pelas válvulas (22) e (36). A coluna (14) é o duto por onde é conduzido o combustível até o bico misturador (26) da câmara de combustão (12). A coluna (15) é o duto por onde é conduzido o comburente até o bico misturador (26) da câmara de combustão (12). As colunas (13), (14) e (15) estão conectadas no fundo do poço à câmara de combustão (12) e na superfície estão suspensas pelo suspensor de coluna (16). O suspensor de coluna (16) é alojado no adaptador especial (17) e junto com este promovem o isolamento

(vedação) do anular (11) formada pelas colunas externa (6) e interna (13), do ambiente. Sobre esse adaptador especial (17) é colocado o protetor (28), cuja única função é proteger o flange superior desse adaptador especial (17) das intempéries. A válvula (18) é a que permite o acesso ao anular (11) e através da qual é injetada a água tratada que irá se transformar em vapor no seu percurso até a formação portadora de hidrocarbonetos (2). A válvula (20) permite o acesso ao anular (9) formado pelo revestimento do poço (1) e a coluna externa (6). Este anular (9) durante a operação do sistema estará com nitrogênio ou vapor e, em ambos os casos, na pressão atmosférica. Nessas condições este anular (9) funcionará como isolante térmico, minimizando as perdas de calor.

Nesse processo, o início da combustão será feito através do ignidor/sensor de temperatura (21) descido a cabo, que após a ignição será retirado do poço.

Os parafusos prisioneiros (27) são os elementos fixadores dos suspensores de coluna (10) e (16) nas suas respectivas sedes.

As luvas conectoras (29) que fazem a conexão dos tubos da coluna (13) são ao mesmo tempo elementos centralizadores dessa coluna (13) e guias das colunas (14) e (15).

A seguir, faremos a descrição do processo de geração de vapor dentro do poço representado pela **FIGURA 1**.

O primeiro passo é abrir a válvula (20) para comunicar o anular (9) com a atmosfera. Esse anular, com gases na pressão atmosférica, tem a função de promover o isolamento térmico, minimizando a troca de calor do vapor gerado ao longo do seu percurso até o fundo do poço com a rocha que envolve o poço representado pela **FIGURA 1**.

O segundo passo é iniciar a injeção de água tratada através da válvula (18) para o anular (11) e por esse anular (11) até o fundo do poço onde através dos canhoneados (3) é injetada na formação portadora de hidrocarbonetos (2).

O terceiro passo é iniciar a injeção de ar através da válvula (24)

para a coluna (15) e através dessa até o bico misturador (26) da câmara de combustão (12) onde, misturado com gás ou óleo vaporizado, será o comburente do processo de combustão.

5 O quarto passo será descer o ignidor/sensor de temperatura (21) com o cabo elétrico (25) até a câmara de combustão (12).

O quinto passo é iniciar a injeção de gás ou óleo através da válvula (23) para a coluna (14) e através dessa até o bico misturador (26) da câmara de combustão (12) onde, misturado com oxigênio do ar, será o combustível do processo de combustão. O ignidor/sensor de  
10 temperatura (21) iniciará e indicará o início do processo de combustão. Depois de iniciada a combustão, as vazões de comburente, combustível e água serão ajustadas e o controle do processo será realizado pela análise dos gases coletados na válvula (39) na superfície e pelo perfil da  
15 temperatura dos gases desde a superfície até profundidades predeterminados na coluna (13). Estabilizada a combustão, a água que está sendo injetada através do anular (11) num processo de troca de calor será aquecida e transformada no vapor que transportará a energia da combustão para a formação portadora de hidrocarbonetos (2).

O sexto passo é transformar o anular (9) em isolante térmico  
20 permitindo que, com o processo em andamento, os fluidos existentes no anular (9), se água seja evaporada até atingir o equilíbrio termodinâmico específico para as condições de temperatura e pressão atmosférica, se nitrogênio expandir até atingir esse equilíbrio. Em ambos os casos, estarão rarefeitos e o anular (9) funcionará como isolante térmico.  
25 Attingido esse equilíbrio, a temperatura do anular (9) será elevada propositadamente, reduzindo-se a vazão da água e aguardando que os fluidos do anular (9) atinjam o novo equilíbrio termodinâmico. Attingido esse novo equilíbrio, a vazão de água é aumentada para a vazão normal prevista no projeto. Com isso, a temperatura no anular (9) cairá e a  
30 válvula de retenção (30), instalada na entrada da válvula (20) irá garantir que a pressão no anular (9) será menor do que a pressão atmosférica, conferindo ao anular (9) boas características de isolamento térmico

(vácuo parcial). Essa válvula de retenção **(30)** também impedirá que, em caso de paradas do processo com conseqüente resfriamento do anular **(9)** o ar atmosférico elimine a rarefação desse anular **(9)**, garantindo isolamento térmico desde o reinício do processo.

5 Compressores serão responsáveis pelo suprimento de ar e gás do processo e uma bomba de pistão, dimensionada em função da pressão e vazão necessárias para o poço, injetará a água tratada que será transformada em vapor no seu percurso até o fundo do poço.

10 Em alguns casos, a pressão de injeção é muito baixa e a vaporização da água irá ocorrer a baixas temperaturas prejudicando a troca de calor e o transporte de energia pela água para dentro do reservatório **(2)**. Neste caso, a instalação de um orifício **(34)** na extremidade da coluna **(6)** ira manter a pressão dentro da mesma acrescida da perda de carga calculada para ser obtida com a vazão  
15 esperada passando por aquele orifício **(34)**. Com isso, cada unidade de massa de água irá transportar mais energia e a vaporização ocorrerá abaixo do orifício **(34)** e praticamente dentro da formação **(2)**.

Para evitar corrosão na coluna **(13)** pela qual são escoados os gases que retornam da combustão, a temperatura deve ser mantida  
20 elevada reduzindo-se a vazão da água injetada. Para evitar que a energia transportada por esses gases se perca, um trocador de calor **(40)** é instalado para promover o aquecimento prévio da água que será injetada no poço. Nesse trocador de calor **(40)**, os gases aquecidos que saem do poço através da válvula **(22)** e do orifício ajustável **(38)**  
25 aquecem a água fria que vai ser injetada no poço e são lançados na atmosfera através da válvula **(43)**. Essa água passa pelo trocador de calor **(40)** entrando pela válvula **(41)**, saindo pelo duto **(42)** do trocador de calor **(40)** e entrando no poço pela válvula **(18)**. As válvulas **(22)** e **(36)** permitem as operações de ignição e outras operações que forem  
30 necessárias com arames ou cabos.

Para otimizar o processo, mudar o perfil de temperatura dentro da coluna **(13)** e adequar esse perfil à melhor troca de calor possível,

permitindo incremento no transporte de energia, foi desenvolvido e instalado no retorno dos gases na extremidade da coluna **(13)** um sistema de orifício regulável **(38)** que induzindo uma perda de carga aumenta a pressão dentro da coluna **(13)** com conseqüente elevação da troca de calor permitindo inclusive um controle do perfil de temperatura dentro do poço.

Em alguns campos, as vazões necessária de vapor são elevadas e a instalação do processo proposto, para o caso de poços existentes, não possibilita uma geometria que permita os fluxos de gás, ar e água e trocas de calor necessárias. Para atender essas necessidades, novos poços com geometria variável conforme a **FIGURA 2** poderão ser perfurados baseados em projetos de perfuração que permitam a descida de colunas **(6)**, **(13)**, **(14)** e **(15)** e de uma câmara de combustão **(12)** com diâmetros e geometria adequados. Para melhor compreensão, como proposta básica, podemos identificar na **FIGURA 2** o poço com revestimento composto dos revestimentos **(1)** e **(44)**, sendo a parte superior **(1)** de maior diâmetro projetado para atender as necessidades de descida de colunas **(6)**, **(13)**, **(14)** e **(15)** e câmara de combustão **(12)** de maiores diâmetros e a parte inferior **(44)**, abaixo da câmara de combustão **(12)**, de menor diâmetro com o objetivo de otimização de custos.

## REIVINDICAÇÕES

1º) **“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**, caracterizado por tornar o poço, que normalmente seria simplesmente o poço injetor do vapor produzido por um gerador externo na superfície, no próprio gerador de vapor conforme o esquema da FIGURA 1.

2º) **“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**, caracterizado por sua câmara de combustão (12) localizada no fundo do poço conforme a FIGURA 1.

3º) **“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**, caracterizado por um sistema de combustão onde o combustível e o comburente são levados até o bico misturador (26) dentro da câmara de combustão (12) onde ocorrerá a queima e pelo retorno dos gases de combustão desde a câmara de combustão (12) para superfície através da coluna (13).

4º) **“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**, caracterizado pela geração de vapor a partir de um processo de troca de calor em que a água desce desde a superfície pelo anular (11) passando externamente pela câmara de combustão (12), em contra fluxo com os gases de combustão que sobem através da coluna interna (13) para superfície desde a câmara de combustão (12), e é injetada (já na forma de vapor) na formação portadora de hidrocarbonetos (2).

5º) **“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**, caracterizado pelo fato que os dutos que conduzem o ar, combustível e gases da combustão, representados respectivamente pelas colunas (15), (14) e (13), estão imersos na água e com uma pressão interna inferior a pressão do anular (11). Esse fato é importante sob o aspecto de segurança operacional uma vez que, em caso de vazamentos, a água invadiria os dutos representados pelas colunas (13), (14) e (15), inundando a câmara de combustão (12) levando a uma interrupção do processo.

6º) **“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**, caracterizado por possuir um anular (9) entre a coluna externa (6) e o revestimento (1) que durante a operação ficará com nitrogênio ou vapor rarefeito e aberto para a atmosfera com o objetivo de funcionar como isolante térmico durante o processo, conforme o relatório descritivo.

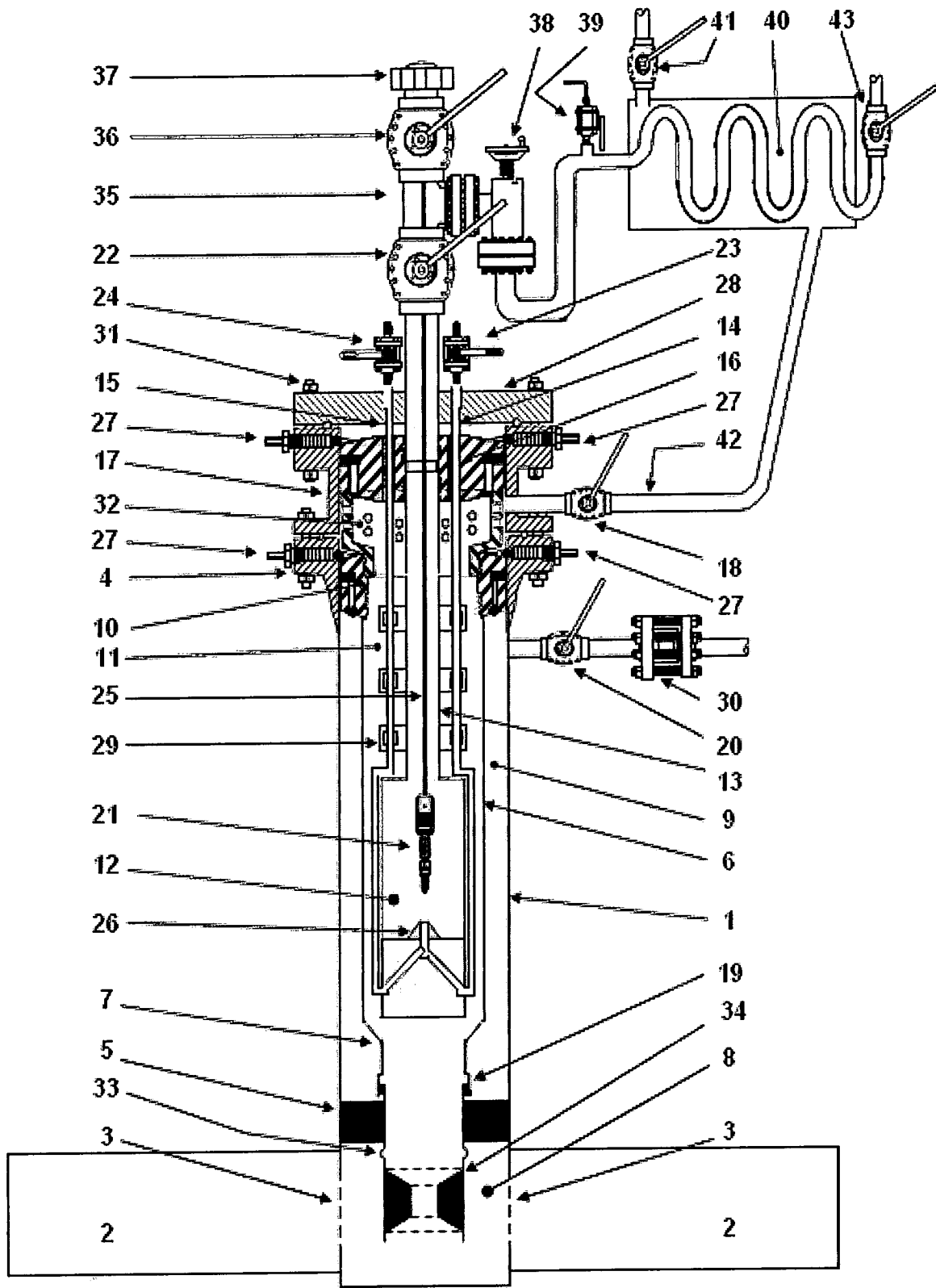
7º) **“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**, caracterizado por permitir que quando forem necessárias altas vazões de vapor, poços com geometria adequada às necessidades sejam perfurados para permitir a descida de câmaras de combustão (12) com os diâmetros e comprimentos adequados, não ficando limitado a poços já existentes. A FIGURA 2 representa essa configuração.

8º) **“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**, caracterizado por permitir a colocação de orifício (34) indutor de perda de carga na extremidade da coluna externa (6) condutora de água, dimensionado para que, dentro dessa coluna (6) e acima do orifício (34), a pressão seja elevada de maneira que a água não evapore permitindo um maior transporte de energia por massa de água para dentro do reservatório (2). A pressão na cabeça do poço e a perda de carga no orifício (34) irão manter a pressão alta o suficiente para evitar a vaporização da água. A vaporização só irá ocorrer depois do orifício (34), praticamente dentro do reservatório (2).

9º) **“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**, caracterizado por utilizar um trocador de calor (40) para aproveitar a energia dos gases que retornam na superfície, para fazer um aquecimento prévio da água que será injetada no poço para geração de vapor.

10º) **“SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”**, caracterizado por possuir um sistema de orifício regulável (38) instalado na coluna (13) que transporta os gases da combustão para superfície e que induzindo uma perda de carga

aumenta a pressão dentro da coluna **(13)** com conseqüente elevação da temperatura dentro da mesma, aumentando a troca térmica e permitindo inclusive um controle do perfil de temperatura dentro do poço.



**FIGURA 1**

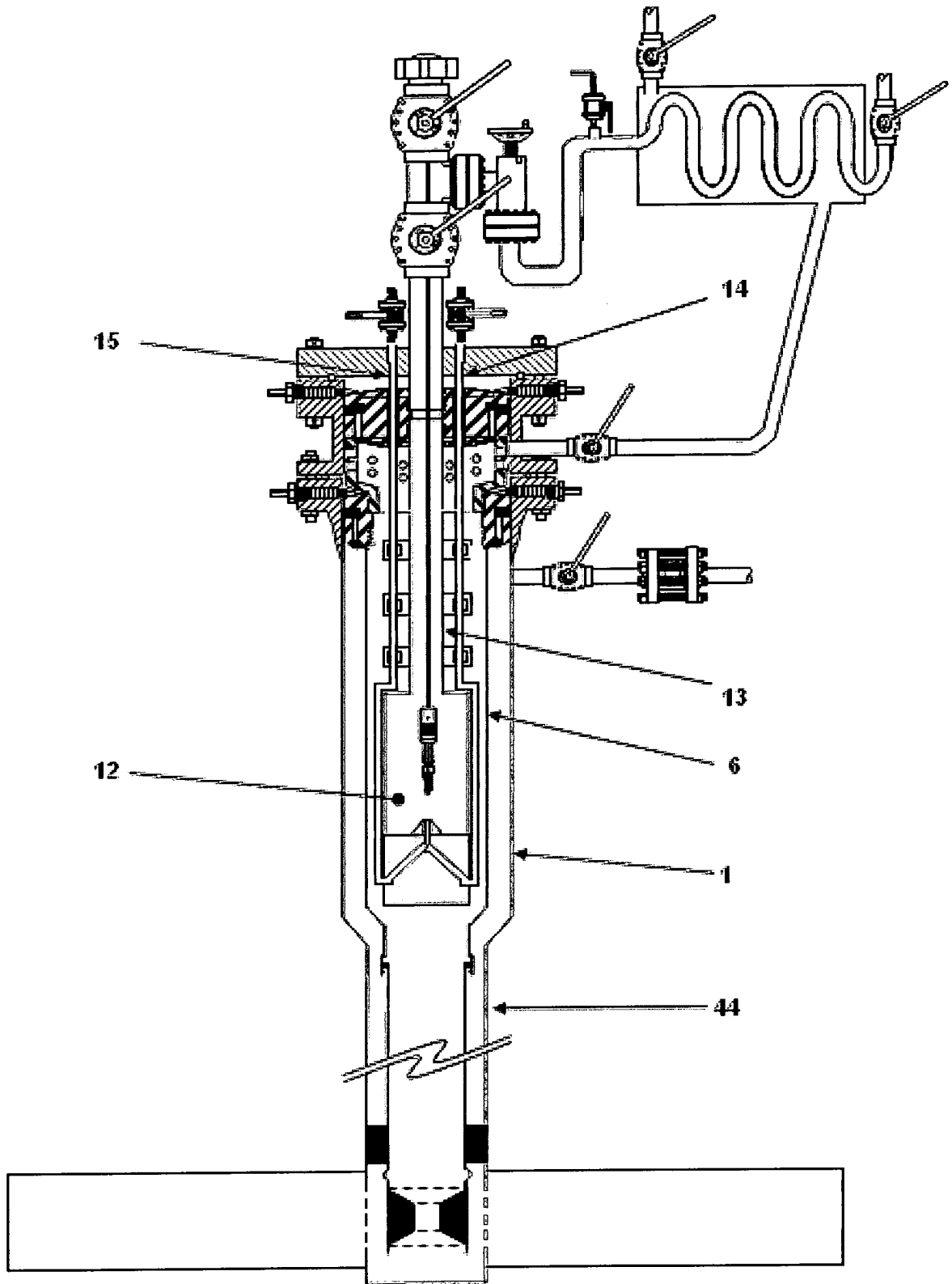


FIGURA 2

## “RESUMO”

### “SISTEMA GERADOR DE VAPOR DE FUNDO DE POÇO PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO”

Refere-se a presente invenção a um processo de geração de vapor, no fundo do poço, com retorno dos gases da combustão para a superfície em contra fluxo com a água que irá transformar-se em vapor num processo termodinâmico de transferência de calor. Esse vapor será injetado na formação portadora de hidrocarbonetos (2).

A água será conduzida até o fundo do poço através de anular (11) formado por duas colunas concêntricas (6) e (13) e os gases da combustão retornam, desde a câmara de combustão (12), para a superfície através da coluna (13) mais interna.

O combustível e o comburente são conduzidos, individualmente, até o bico misturador (26) da câmara de combustão (12) através de duas colunas (14) e (15), que descem pelo anular entre as colunas concêntricas (6) e (13).

O processo de ignição será feito através de um ignidor/sensor de temperatura (21) que será levado até a câmara de combustão (12) na extremidade de um cabo elétrico (25).

A grande vantagem sobre os processos convencionais de injeção de vapor com o objetivo de recuperação de petróleo, é a economia de energia. Outra vantagem é a redução da energia para injeção do vapor que, nos processos convencionais é injetado como um fluido de baixíssimo peso específico desde a superfície até o fundo do poço (baixa pressão hidrostática), enquanto no processo proposto, é injetada água (fluido de elevado peso específico em comparação com o vapor) que só irá se transformar em vapor mais próximo do fundo do poço.

Onde elevadas vazões de vapor são necessárias, poços especialmente projetados serão perfurados conforme FIGURA 2 com revestimento composto (1) e (44) para receberem as colunas (6), (13), (14) e (15) e a câmara (12) com a geometria necessária.

A utilização de um orifício ajustável (38) conforme FIGURA 1,

permitirá um controle do perfil de temperatura, dentro do poço permitindo uma otimização do processo termodinâmico, o mesmo acontecendo com a utilização de um orifício **(34)** na extremidade da coluna **(6)** que irá evitar uma evaporação prematura da água nos poços que recebem com baixa pressão.