



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

(11) PI 0920056-8 B1



(22) Data do Depósito: 02/11/2009

(45) Data de Concessão: 08/10/2019

(54) Título: AQUECEDORES OPERÁVEIS SOBRE SUPRIMENTO DE COMBUSTÍVEL E SUPRIMENTO DE OXIDANTE E MÉTODO DE PROPORCIONAR CALOR PARA PIROLISAR FORMAÇÃO DE HIDROCARBONETOS

(51) Int.Cl.: E21B 43/24.

(30) Prioridade Unionista: 06/11/2008 US 61/112,088.

(73) Titular(es): AMERICAN SHALE OIL, LLC.

(72) Inventor(es): ALAN K. BURNHAM; HENRICK WALLMAN; JAMES MCCONAGHY; ROGER L. DAY.

(86) Pedido PCT: PCT US2009062995 de 02/11/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/053876 de 14/05/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 27/04/2011

(57) Resumo: AQUECEDORES OPERÁVEIS SOBRE SUPRIMENTO DE COMBUSTÍVEL E SUPRIMENTO DE OXIDANTE E MÉTODO DE PROPORCIONAR CALOR PARA PIROLISAR FORMAÇÃO DE HIDROCARBONETOS São apresentadas modalidades de aquecedor para ajudar na recuperação de hidrocarbonetos de depósitos subterrâneos. Em uma modalidade, um aquecedor é fornecido para um poço que foi perfurado através de um depósito de folhelho oleífero. Um combustível e um oxidante são fornecidos para o aquecedor e gases de escape são recuperados. O aquecedor tem um projeto contracorrente e proporciona uma temperatura quase uniforme ao longo do comprimento do aquecedor. O aquecedor pode ser projetado para operar em diferentes temperaturas e profundidades para pirolisar ou de outra forma aquecer depósitos de hidrocarbonetos subterrâneos para formar um produto que é facilmente recuperado e que é útil sem processamento adicional substancial. Várias modalidades de um aquecedor de contracorrente são descritas, incluindo aquecedores tendo, por todo o comprimento do aquecedor, zonas de reação distribuídas, oxidação catalítica distribuída do combustível e geração de calor discreta ou contínua. Os aquecedores também podem utilizar gases inertes da recuperação de produto ou de gases de escape do aquecedor para controlar a temperatura do aquecedor.

**“AQUECEDORES OPERÁVEIS SOBRE SUPRIMENTO DE
COMBUSTÍVEL E SUPRIMENTO DE OXIDANTE
E MÉTODO DE PROPORCIONAR CALOR PARA PIROLISAR
FORMAÇÃO DE HIDROCARBONETOS”**

RELATÓRIO DESCRITIVO

REFERÊNCIA REMISSIVA A PEDIDOS RELACIONADOS

1. O presente Pedido reivindica o benefício do Pedido Provisional US N.º de Série 61/112.088, com o mesmo título, depositado em 6 de novembro de 2008, cuja divulgação está aqui incorporada para referência em sua totalidade.

CAMPO DA INVENÇÃO

2. A presente invenção geralmente refere-se a aparelhos e métodos para facilitar a recuperação de produtos de hidrocarbonetos a partir de depósitos subterrâneos e, mais particularmente, a um método e sistema para aquecimento *in situ* de folhelho oleífero para recuperar óleo de folhelho líquido.

ESTADO DA TÉCNICA

3. O estado da técnica que se vislumbra mais se aproximar da matéria do presente Pedido refere-se a aquecedores de ambiente e, mais particularmente, a um dispositivo e método para produzir radiação infravermelha para aquecer a área circundante. A Patente US US5.992.409 é relativa a esta matéria.

4. A maneira mais comum de aquecer um conteúdo, tal como pessoas, num espaço restrito, como uma sala fria, é aquecer o ar dentro desse espaço. Uma maneira mais eficiente de alcançar os mesmos

resultados é direcionar a radiação infravermelha para os alvos a serem aquecidos, bem como para superfícies tais como paredes e pisos no espaço restrito, eliminando, assim, a necessidade de usar ar aquecido ou ar quente como intermediário. Os alvos e as superfícies irradiadas tornam-se, então, um conjunto de re-emissores irradiantes de baixa temperatura. Como a energia infravermelha é absorvida somente nos locais para onde é dirigida, é possível dividir o espaço restrito em zonas menores separadas e manter um nível de conforto diferente em cada zona. Os objetos em contato com o piso são aquecidos tanto pela radiação direta quanto pela condução do solo. Este método de aquecimento de espaço tem sido aplicado a uma grande variedade de locais, incluindo armazéns, garagens, estufas, terminais de transporte, cabides de avião, ginásios, quadras de tênis, prédios industriais e de fazenda e docas de carga.

5. A maneira mais comum de gerar a radiação infravermelha é usando um aquecedor de tubo de gás radiante. Os componentes de um aquecedor de tubo radiante de gás convencional incluem um tubo radiante 10, um sistema de controle e combustão 12, uma entrada de combustível 14, uma entrada de ar 16, um exaustor 18 e um refletor 20. Um combustível de hidrocarboneto gasoso tal como metano introduzido no sistema de controle e combustão 12 através da entrada de combustível 14. O ar, como fonte de oxigênio, introduzido no sistema de controle e combustível 12 através da entrada de ar 16, que pode ser tão simples como um orifício no lado do sistema de controle e combustão 12. O sistema de controle e combustão 12 inflama a mistura resultante de ar-combustível na extremidade esquerda do tubo radiante 10, produzindo produtos de reação quentes que, quando entram em contato com a parede interna do tubo radiante 10, estão a uma temperatura de cerca de 500° C na extremidade esquerda do tubo radiante 10 e a uma temperatura de cerca de 150° C na extremidade direita do tubo radiante 10. Estes produtos de reação idealmente incluem apenas o vapor de água e dióxido de carbono, mas muitas vezes também incluem monóxido de

carbono, fuligem e óxidos de nitrogênio. A ventoinha de exaustão 18 puxa estes produtos de reação através do tubo radiante 10, aquecendo-o e fazendo com que o tubo radiante 10 emita radiação infravermelha. O refletor 20 direciona essa radiação infravermelha para a direção desejada. Por exemplo, se o aquecedor de tubo de gás radiante da Figura 1 fosse montado no teto de uma sala, o refletor 20 seria posicionado como mostrado para direcionar a radiação infravermelha para baixo. Um exemplo ilustrativo de um aquecedor de tubo radiante a gás pode também ser encontrado na Patente US No. 5.429.112, de Rozzi.

6. Estruturalmente, o único requisito que deve ser satisfeito pelo tubo radiante 10 é que ele seja suficientemente robusto para suportar as temperaturas geradas nele pelos produtos quentes da combustão do combustível no oxigênio atmosférico. De preferência, a superfície exterior do tubo radiante 10 é tratada para promover a emissão eficiente de radiação infravermelha, por exemplo, pintando a superfície exterior do tubo 10 radiante de preto, utilizando uma tinta preta de alta temperatura. Tipicamente, o tubo radiante 10 é um cilindro de 3 a 30 metros de comprimento e de 4 a 6 polegadas de diâmetro, embora outras formas sejam usadas. Por exemplo, o tubo radiante da Patente Rozzi é em forma de U. Tipicamente, a superfície exterior do tubo radiante 10 atinge uma temperatura de operação entre 400° C na extremidade esquerda do tubo radiante 10 e 100° C na extremidade direita do tubo radiante 10.

7. Todavia, deve ser enfatizado que os aquecedores radiantes a gás convencionais sofrem das seguintes limitações:

8. O combustível e o ar devem ser introduzidos no sistema de controle e combustão 12 em proporções quase estequiométricas. A mistura resultante pode explodir em caso de mau funcionamento do aquecedor.

9. Como referido acima, os produtos da reação incluem frequentemente poluentes tais como monóxido de carbono, fuligem e óxidos de azoto.

10. Os componentes relevantes do sistema de controle e combustão 12 e o tubo radiante 10 (por exemplo, a extremidade esquerda do tubo radiante 10 onde a combustão ocorre) devem ser suficientemente resistentes para suportar as temperaturas de combustão entre 1.300° C e 1.900° C.

11. Devido à queda de temperatura ao longo do tubo radiante 10, a radiação infravermelha é emitida de forma não homogênea.

12. A invenção da Patente de Rozzi citada acima foi dirigida especificamente às limitações de números 1 e 3.

13. As limitações de números 2 e 4 são inerentes aos aquecedores radiantes de gás convencionais.

FUNDAMENTOS

14. Existe, assim, uma necessidade amplamente reconhecida - e que seria altamente vantajoso solucionar – elaborar um projeto para aquecedores radiantes de gás que superasse as desvantagens dos sistemas presentemente conhecidos como descrito acima.

DEPÓSITOS SUBTERRÂNEOS

15. Grandes depósitos de folhelho oleífero subterrâneos são encontrados tanto nos EUA como ao redor do mundo. Em contraste com depósitos de petróleo, estes depósitos de folhelho oleífero são caracterizados por seu estado sólido; no qual o material orgânico é uma estrutura similar a polímero muitas vezes denominada “querogênio” intimamente misturada com componentes minerais inorgânicos. O aquecimento de depósitos de folhelho oleífero a uma temperatura de cerca de 300°C mostrou resultar na pirólise do querogênio sólido para formar “óleo de folhelho” similar a petróleo e produtos gasosos similares a gás natural. A extração econômica de produtos derivados de folhelho oleífero é dificultada, em parte, pela dificuldade em aquecer de modo eficiente depósitos de folhelho oleífero subterrâneos.

16. Assim, há uma necessidade na técnica de um método e aparelho que permita o eficiente aquecimento *in situ* de grandes volumes de depósitos de folhelho oleífero.

SUMÁRIO

17. O presente pedido trata de algumas das desvantagens de sistemas e técnicas conhecidos fornecendo um aparelho para o aquecimento de grandes volumes subterrâneos. Em uma modalidade, é fornecido um aquecedor que pode aquecer a uma temperatura especificada ao longo do comprimento do aquecedor.

18. Em geral, o aquecedor aceita combustível e oxidante e é projetado para promover zonas de reação exotérmica ao longo do comprimento do aquecedor. Em várias modalidades, o aquecedor inclui regiões de mistura para o combustível e o oxidante, e as reações ocorrem dentro da mistura nas regiões de mistura, em superfícies catalíticas ou alguma combinação das mesmas.

19. Esses recursos, juntamente com as diversas disposições e características acessórias que se tornarão evidentes para aqueles versados na técnica da seguinte descrição detalhada são atingidos pelo aparelho e método da presente divulgação, modalidades preferidas dos mesmos sendo mostradas aqui.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

20. A **Figura 1** é um desenho esquemático de um local rico em folhelho oleífero na Formação Green River do Colorado.

21. A **Figura 2** é um desenho esquemático de alguns dos elementos para controle do aquecedor que podem estar contidos no Prédio de Controle do Aquecedor.

22. A **Figura 3** é um desenho esquemático que ilustra uma modalidade exemplificativa de um aquecedor na forma de um Aquecedor de Material Catalítico Permeável.

23. A **Figura 4** é um desenho esquemático que ilustra outra modalidade exemplificativa de um aquecedor na forma de um Aquecedor de Leito Catalítico.

24. A **Figura 5** mostra a distribuição de temperatura resultante de uma simulação numérica do desempenho de um Aquecedor de Leito Catalítico, como mostrado na Figura 4.

25. A **Figura 6** é um desenho esquemático que ilustra ainda outra modalidade exemplificativa de um aquecedor na forma de um Aquecedor de Parede Catalítica.

DESCRIÇÃO DETALHADA

26. A Figura 1 é uma vista em elevação de um local rico em folhelho oleífero 100 no Colorado conhecido como a Formação Green River. A Figura 1 é uma ilustração exemplar, não limitante. Algumas das camadas mostradas na vista em elevação incluem a profundidade crescente, uma Zona Mahogany 102, uma Camada de Rocha com Capa de Folhelho Oleífero rica em Nacolita 104, e uma Zona de Folhelho Oleífero rica em Ilita 106. As distâncias mostradas são aproximadas e dar uma ideia aproximada da geologia da formação. A região acima da Zona Mahogany 102 tipicamente tem boa qualidade de água. A salinidade da água aumenta à medida que se aproxima Camada de Rocha com Capa de Folhelho Oleífero rica em Nacolita 104. A Zona de Folhelho Oleífero rica em Ilita 106 tem uma baixa permeabilidade.

27. Um processo exemplificativo para extrair querogênio, *in situ*, inclui aquecer a Zona de Folhelho Oleífero rica em Ilita 106 até a temperatura de pirólise. O calor pode ser fornecido por uma fonte de calor através de um poço aquecedor 108. Querogênio fluido pode ser removido através de um poço de produção 10. A extração *in situ* é descrita ainda no Pedido de Patente US copendente Número de Série 11/655.152, intitulado *In-Situ Method and System for Extraction of Oil from Shale*, depositado em 19 de janeiro de 2007, incorporado aqui para referência,

como se estabelecido na totalidade. Como pode ser visto, tanto o poço aquecedor 108 quanto o poço de produção 110 têm uma seção que se estende na Zona de Folhelho Oleífero rica em Ilita 106. Embora apresentados como uma seção de poço horizontal, os poços podem ser horizontais, verticais ou a qualquer ângulo entre eles.

28. Em uma modalidade, o aquecedor de poço 108 pode incluir um trocador de calor contracorrente para pré-aquecer fluidos combustíveis (explicado com mais detalhes abaixo) que são, então, queimados para gerar calor na Zona de Folhelho Oleífero rica em Ilita 106. Em outra modalidade, o poço aquecedor 108 pode incluir um queimador dentro do poço dentro da Zona de Folhelho Oleífero rica em Ilita 106. O poço aquecedor 108 fornece calor para pirolisar o folhelho, de tal forma que o querogênio é convertido em fluidos que podem ser extraídos através do poço de produção 110. Os fluidos combustíveis fornecidos para o poço aquecedor podem em várias modalidades, incluindo uma mistura rica em oxigênio e/ou contendo dióxido de carbono, ser recuperados na superfície do poço de produção 110 ou do poço aquecedor 108. Neste contexto, o termo fluido se destina a abranger tanto líquidos quanto gases.

29. O volume de folhelho com o objetivo de ser aquecido se chama “retorta”. O aquecedor forma uma retorta subterrânea em um depósito transferindo calor por condução e convecção de fluidos aquecidos para o volume de retorta, convertendo o depósito em líquidos de hidrocarbonetos recuperáveis e gases. Assim, por exemplo e sem limitação, um folhelho oleífero pode ser pirolisado para formar óleo cru sintético que pode, então, ser extraído através de outro poço. Em algumas modalidades, a retorta se estenderá de 50 pés a 100 pés a partir do aquecedor, por exemplo.

30. A temperatura necessária para facilitar a remoção dos depósitos subterrâneos depende da natureza química e/ou do estado físico do depósito e da profundidade. Em geral, os aquecedores divulgados aqui podem ser configurados para operar em uma faixa de

temperaturas e a uma faixa de profundidades e configurações, para facilitar a remoção de muitos tipos de depósitos incluindo, mas não se limitando a, folhelho, areias betuminosas e depósitos de óleo pesado. Os exemplos aqui apresentados são para fins ilustrativos e não pretendem ser uma limitação. Em uma modalidade, a temperatura do aquecedor é maior que a temperatura de pirólise do querogênio e menor do que a temperatura na o óleo de folhelho coqueifica na superfície do aquecedor.

31. Como os depósitos de folhelho oleífero tipicamente contêm grandes quantidades de material inorgânico misturado com o querogênio e estes materiais inorgânicos são aquecidos juntamente com o querogênio, o aquecimento eficiente da retorta é desejável. Um método de aquecimento eficiente para recuperação de óleo de folhelho oleífero é perfurar um ou mais poços para o depósito de folhelho, instalar aquecedores dentro do poço em um ou mais poços para aquecer o folhelho oleífero *in situ* e, assim, pirolisar o querogênio em produtos líquidos e gasosos recuperáveis através de um ou mais poços de produção.

32. Se o depósito na região da retorta tiver propriedades físicas e químicas uniformes, e se o aquecimento for uniforme ao longo do aquecedor, então, a retorta se desenvolverá de maneira uniforme ao longo do aquecedor. Assim, por exemplo, um aquecedor longo reto produzindo aquecimento uniforme formará uma retorta cilíndrica. Variações longitudinais no aquecimento podem resultar em formatos de retorta não cilíndricos. Tais variações no formato da retorta podem resultar em um sistema que não processa eficientemente todo o folhelho oleífero perto da retorta, e podem exigir que o aquecedor seja desligado até a uniformidade ser restabelecida. Por esta razão, é preferível que o aquecimento seja tal que a extensão radial da retorta não varie apreciavelmente ao longo do comprimento do aquecedor.

33. Também mostrados na Figura 1 estão um Prédio de Controle de Aquecedor 112 e um Prédio de Recuperação de Óleo de Folhelho 114. Em uma modalidade, o aquecimento da retorta é conseguido por reação

subterrânea de um combustível e oxidante. Alternativamente, o aquecimento da retorta pode ser suplementado por aquecimento elétrico do aquecedor. A Figura 2 é um esquemático de alguns dos elementos para controle do aquecedor que podem estar contidos dentro do Prédio de Controle do Aquecedor 112. O Prédio de Controle do Aquecedor 112 pode incluir: um controlador 200, uma ou mais válvulas ajustáveis 202(1) a 202(N) conectando um fornecimento de combustível 204 e a linha de combustível do aquecedor 206; uma ou mais válvulas ajustáveis 203 conectando um fornecimento de oxidante 208 e uma linha de oxidante 207; e uma ou mais válvulas ajustáveis opcionais 205 conectando uma fonte de diluente 210 e uma linha de fornecimento de diluente 209. As válvulas ajustáveis 203 e 205 podem ser organizadas de forma semelhante ao coletor associado com as válvulas ajustáveis 202. O Prédio de Controle de Aquecedor 112 também pode incluir dispositivos ou líquidos de mistura (não mostrados). Por exemplo, algumas modalidades podem fornecer combustível, oxidante, diluente pré-misturados ou suas misturas.

34. Em uma modalidade, são providos fluidos de modo controlado a diferentes regiões do poço aquecedor 108, conforme descrito posteriormente. Assim, por exemplo e sem limitação, os fornecimentos de combustível, oxidante, e/ou solvente podem ser regulados de forma independente e fornecidos por encanamento às diferentes partes do aquecedor (“Zonas do Aquecedor”). Ainda noutra modalidade, dispositivos sensores de temperatura são fornecidos ao longo do comprimento do Aquecedor. Como exemplo, termopares ou detectores de temperatura por resistência (RTD) são estrategicamente colocados ao longo do aquecedor, perto ou sobre a superfície externa do aquecedor. Através do ajuste criterioso do fornecimento de combustível, o aquecedor pode ser operado para obter uniformidade de temperatura. Alternativamente, aquecedores de resistência elétrica podem ser usados para fornecer aquecimento adicional para alcançar uniformidade de temperatura ao longo do aquecedor.

35. Em uma modalidade, a temperatura ao longo do aquecedor varia em não mais de 10°C. Em outra modalidade, a temperatura ao longo do aquecedor varia de acordo em não mais de 20°C. Ainda noutra modalidade, a temperatura ao longo do aquecedor varia em não mais de 10°C através de 10 metros de comprimento do aquecedor. Em outra modalidade, a temperatura ao longo do aquecedor varia de não mais de 20°C ao longo de 10 metros de comprimento do aquecedor. Em outra modalidade, a temperatura ao longo do comprimento do aquecedor varia em menos de 40°C. Ainda noutra modalidade, a temperatura ao longo do comprimento do aquecedor varia em menos de 100°C.

36. Em uma modalidade, o fluxo de calor ao longo do aquecedor varia em não mais de 10%. Em outra modalidade, o fluxo de calor ao longo do aquecedor varia em não mais de 20%. Ainda noutra modalidade, o fluxo de calor ao longo do aquecedor varia em não mais de 10% através de 10 metros de comprimento do aquecedor. Em outra modalidade, o fluxo de calor ao longo do aquecedor varia em não mais de 20% através de 10 metros de comprimento do aquecedor. Ainda noutra modalidade, a retorta pode não ter características de transferência de calor constante. Assim, por exemplo, o fluxo de vapores de óleo pode aumentar a transferência de calor através de algumas partes do aquecedor. Variações na transferência de calor podem ser compensadas propositadamente proporcionando variações no fluxo de calor e/ou na temperatura, longitudinal ou circunferencialmente.

37. Em uma modalidade, o aquecedor é dimensionado para caber dentro de um revestimento de poço perfurado dentro da retorta. O revestimento perfurado oferece proteção mecânica contra fragmentos de rocha lascados que podem se soltar da parede do poço. Assim, por exemplo, o aquecedor é dimensionado para caber dentro de um revestimento de tendo uma abertura circular de 150 mm a 500 mm de diâmetro. Em várias modalidades o aquecedor é cilíndrico e tem um diâmetro de 150 mm a 300 mm. Em várias modalidades, o aquecedor tem um diâmetro de aproximadamente 150 mm, de aproximadamente

200 mm, de aproximadamente 250 mm, ou de aproximadamente 300 mm.

38. Estudos têm demonstrado que a rentabilidade de extração de depósitos de folhelho oleífero melhora com o comprimento de retorta lateral, ou seja, quanto mais longa a retorta servida por um poço aquecedor menor o custo devido ao custo substancial dos poços. O aquecedor divulgado pode aquecer retortas muito longas até uma temperatura uniforme. Em uma modalidade, o comprimento do aquecedor é, por exemplo e sem limitação, superior a 1000 m. Em modalidades alternativas, o aquecedor tem um comprimento superior a 100 m, superior a 200 m, superior a 300 m, superior a 400 m, superior a 500 m, superior a 600 m, superior a 700 m, superior a 800 m ou superior a 900 m. Em outras modalidades alternativas, o aquecedor tem um comprimento superior a 1500 m, ou superior a 2.000 m.

39. A conversão de querogênio no depósito de folhelho oleífero em produtos líquidos e/ou gasosos por meio de pirólise também facilita a separação dos componentes orgânicos dos constituintes inorgânicos do folhelho que estão presentes em grandes quantidades.

40. Em uma modalidade, um aquecedor para aquecimento subterrâneo de folhelho, areias betuminosas e depósitos de óleo pesado é fornecido. O aquecedor pode ser instalado, por exemplo, em um poço horizontal. Mediante aquecimento, os depósitos forma óleo em ebulição que é mantido a uma temperatura que depende da composição e da profundidade do depósito. Para muitos depósitos subterrâneos, as temperaturas de interesse são de 275°C a 450°C. Em uma modalidade, o óleo entra em ebulição a aproximadamente 350°C.

41. Em outra modalidade, um aquecedor pode ser instalado em um poço horizontal que atravessa um depósito, tal como um depósito de folhelho oleífero. Em outra modalidade, o produto contatando o aquecedor se liquefaz, como resultado do aquecimento e/ou da pirólise, e forma um líquido em ebulição que contata um comprimento do aquecedor. Em uma modalidade, o depósito é aquecido a um ponto de

ebulição que variará com o tipo de depósito e a profundidade. Assim, por exemplo, o aquecedor uma vez operando é, de preferência, circundado pelo óleo de produto em ebulição subterrâneo mantido a aproximadamente 350°C.

42. Ainda noutra modalidade, um aquecedor inclui um trocador de calor contracorrente. Um combustível gasoso ou líquido e oxidante gasoso, que pode ser diluído, e que podem ser pré-misturados ou fornecidos separadamente, são fornecidos ao aquecedor. O combustível e o oxidante reagem exotermicamente e formam “gases de escape” que contra escoam através do trocador de calor e pré-aquecem os gases entrantes. O calor liberado pré-aquece o combustível entrante e/ou oxidante e/ou diluente e um alojamento externo do aquecedor. O aquecimento pode ocorrer em parte ou em todo o comprimento do aquecedor. Em certas modalidades, o combustível e o oxidante reagem dentro do aquecedor, na fase gasosa ou em uma superfície promovida por um catalisador. Os gases de escape resultantes contra escoam em relação aos fluidos entrantes, pré-aquecendo o combustível e o oxidante à medida que eles escoam para o queimador e também aquecendo um tubo externo do aquecedor.

43. Em uma modalidade, as linhas de fornecimento e de gás de escape da superfície do solo para o aquecedor são dispostas para fornecer a troca de calor contracorrente. O gás de escape é, assim, resfriado para aproximadamente 25°C, por exemplo, no momento em que atinge a superfície e o combustível e o oxidante são pré-aquecidos até a temperatura de gás de escape máxima que pode ser, por exemplo, de aproximadamente 400°C, ou aproximadamente 500°C antes de entrarem no aquecedor.

44. Em certas modalidades, o combustível e o oxidante podem, em várias modalidades, incluir uma proporção estequiométrica ou proporções pobres (oxidante rico) de um combustível. Em algumas modalidades, o combustível e o oxidante são pré-misturados e, em outras modalidades, os fluidos são fornecidos separadamente e são misturados

em zonas de reação ao longo do aquecedor. Alternativamente, um diluente pode ser adicionado ao combustível, oxidante, ou mistura dos mesmos. O diluente pode ser, mas, sem limitação, dióxido de carbono recuperado na superfície do poço de produção.

45. Em determinadas outras modalidades, especificamente no caso de reações combustível/oxidante dentro do aquecedor não serem suficientemente completas para o gás de escape atender às exigências de emissões ou sequestro, um conversor catalítico pode ser fornecido nas saídas de gás de escape do aquecedor para eliminar hidrocarbonetos residuais e CO em um local onde a temperatura é alta o suficiente para suportar a oxidação catalítica.

46. Em outras modalidades, alguns dos gases de escape podem ser reciclados de volta para o aquecedor misturando os mesmos com o combustível, oxigênio, ou uma mistura dos mesmos.

47. A seguir, são ilustrativos de várias modalidades de aquecedor, que não devem ser interpretados como limitação.

AQUECEDOR DE MATERIAL CATALÍTICO PERMEÁVEL

48. Uma modalidade de um aquecedor é mostrada na Figura 3 como um Aquecedor de Material Catalítico Permeável 300. A modalidade do aquecedor da Figura 3 pode incluir um ou mais dos elementos acima descritos, conforme o caso. O aquecedor da Figura 3 tem uma extremidade aberta 302 que tem uma porção de Entrada/Saída de Gás 306 que fornece tanto fluxos de entrada quanto de saída de gás, e uma Extremidade de Aquecedor Fechada 304. O aquecedor 300 inclui um Alojamento Queimador 308 adequado para a colocação em um poço. Interno ao Alojamento de Queimador 308 está um Meio de Restrição de Fluxo 310 que se estende até a Extremidade de Aquecedor Fechada 304. Nesta modalidade exemplificativa, Meio de Restrição de Fluxo 310 divide o volume interior do Alojamento de Queimador 308 em uma Passagem de Fluxo Interna 303 e Passagem de Fluxo Externa 305, por vezes

denominadas como uma primeira região de alojamento e uma segunda região de alojamento. Pelo menos uma porção do Meio de Restrição de Fluxo 310 é formada de um material permeável catalítico que usa uma permeabilidade selecionada para fornecer um fluxo controlado transversal da Passagem de Fluxo Interna para a Externa. Embora a modalidade da Figura 3 mostre um Alojamento de Queimador cilíndrico e um Meio de Restrição de Fluxo cilíndrico, esta configuração é para fins ilustrativos e não se limita a esta geometria. Em uma modalidade alternativa, Passagem de Fluxo Externa se estende ao longo do Aquecedor, mas não inclui a Extremidade de Aquecedor Fechada. Em outra modalidade alternativa, o fluxo se desloca da Passagem de Fluxo Externa para a Passagem de Fluxo Interna.

49. Fluidos pré-misturados que incluem um combustível e um oxidante são fornecidos através do poço da superfície para a Porção de Entrada/Saída de Gás 306 e escoam através da Passagem de Fluxo Interna 303 em direção à Extremidade de Aquecedor Fechada 304, conforme indicado pelas setas axiais 320. Os Gases Pré-misturados podem ser uma mistura estequiométrica ou pobre em combustível e podem incluir diluente para abaixar a temperatura de reação. O diluente pode ser Gases de Escape recuperados, gases inertes recuperados do poço de produção ou outros gases não reativos, tal como nitrogênio contido no ar.

50. Os fluidos pré-misturados também escoam através do material permeável catalítico 310, conforme indicado pelas setas radiais 330, onde eles reagem para formar Gases de Escape que escoam para longe da Extremidade de Aquecedor Fechada 304, conforme indicado pelas setas axiais 340. A distribuição de fluxo através do material permeável catalítico 310 é afetada por propriedades e pressões do fluido e a porosidade, espessura e área do material permeável catalítico. O calor de reação dos fluidos pré-misturados aquece o Meio de Restrição de Fluxo 310, os fluidos pré-misturados, Gases de Escape e o Alojamento 308. A reação completa dos fluidos pré-misturados no material catalítico é

desejável para atingir a elevação de temperatura máxima em todo o material catalítico. Uma grande queda de pressão através do material catalítico facilita a distribuição axial de fluidos pré-misturados que deve ser uniforme para aquecimento uniforme do Aquecedor 300.

51. O fluxo de Gases de Escape do Meio de Restrição de Fluxo 310 através da Passagem de Fluxo Externa 305 em direção à Porção de Entrada/Saída de Gás 306 e, eventualmente, através do poço e para a superfície.

52. Em uma modalidade, o fluxo de combustível e oxidante através do Meio de Restrição de Fluxo 310 é aproximadamente constante ao longo do comprimento do queimador. Assim, por exemplo e sem limitação, a taxa de fluxo varia em menos de 5% ao longo do comprimento do queimador, exceto perto das extremidades do queimador. Em outra modalidade, a taxa de fluxo varia em menos de 2%.

53. O Meio de Restrição de Fluxo 310 proporciona um meio para atingir um perfil de fluxo transversal desejado, controlado ao longo do comprimento do aquecedor entre as Passagens de Fluxo Interna e Externa. O Meio de Restrição de Fluxo 310 pode ser contínuo ou não contíguo, composto por segmentos porosos e não porosos, composto de painéis porosos em uma parede de tubo de outra forma sólida, ou qualquer combinação dos anteriores. Em outras modalidades, os painéis porosos podem ser feitos de frita de metal sinterizado, frita cerâmica ou pequenos furos na parede separando as Passagens de Fluxo Interna e Externa.

54. Em uma modalidade, uma pequena variação da taxa de fluxo através do Meio de Restrição de Fluxo 310 e ao longo do Queimador 300 é fornecida por um Meio de Restrição de Fluxo com uma permeabilidade aproximadamente constante com uma queda de pressão através do Meio de Restrição de Fluxo que é maior do que a queda de pressão ao longo da Passagem de Fluxo Externa 305. Alternativamente, uma pequena variação da taxa de fluxo através do Meio de Restrição de Fluxo 310 e ao longo do Queimador 300 é fornecida por um Meio de Restrição de Fluxo

310 tendo uma permeabilidade que aumenta com a distância ao longo do queimador, coincidindo a queda de pressão através do Meio de Restrição de Fluxo com da pressão à medida que ela varia ao longo da Passagem de Fluxo Externa 305. Ainda noutra modalidade, uma taxa de fluxo pequena é fornecida tendo áreas diferentes de um material permeável uniformemente ao longo do comprimento do Meio de Restrição de Fluxo para coincidir com a queda de pressão entre as Passagens de Fluxo Interna e Externa.

55. Em uma modalidade, a porção de material permeável catalítico do Meio de Restrição de Fluxo 310 tem um diâmetro de 200 mm e uma espessura de parede de poucos milímetros (por exemplo, 10 mm). O alojamento 308, em uma modalidade, é um tubo de aço inoxidável tendo um diâmetro de aproximadamente 300 mm. O material permeável catalítico pode ser, por exemplo e sem limitação, de aço inoxidável sinterizado ou aço de liga especial. Alternativamente, o material catalítico inclui um metal nobre, como o paládio ou platina, em alumina sinterizada. A constante de permeabilidade do material permeável catalítico pode ser, por exemplo e sem limitação, de 0,1 a 1,0 mDarcy. Estes valores são meramente ilustrativos, com os valores reais escolhidos para distribuir reações dos Gases Pré-misturados, de tal forma que o Alojamento mantenha uma temperatura aproximadamente constante.

56. Em uma modalidade, os fluidos pré-misturados incluem uma mistura gasosa estequiométrica combustível /oxidante com 2% em peso de CH_4 e 8% em peso de O_2 com uma elevação de temperatura adiabática de cerca de 900°C.

57. Em outra modalidade, os fluidos pré-misturados são pobres em combustível, com uma taxa de fluxo de CH_4 de 0,02 kg/s e uma taxa de fluxo de O_2 de 0,08 kg/s. Esta mistura é ainda diluída com a adição de 1,0 kg/s de um gás inerte que pode ser, por exemplo e sem limitação, CO_2 , H_2O ou N_2 . Os gases pré-misturados são fornecidos a baixa temperatura (perto da temperatura ambiente) e alta pressão (aproximadamente 30 atm). A pressão de saída de gás de escape é de 15

a 20 atm e o revestimento é mantido a cerca de 410°C para manter um depósito de óleo em ebulição externo ao tubo a aproximadamente 400°C.

58. O arranjo contracorrente de fluidos e Gases de Escape pré-misturados aquece os fluidos pré-misturados à medida que eles fluem através da Passagem de Fluxo Interna 303 retornando Gases de Escape na Passagem de Fluxo Externa 305, e atinge uma temperatura que não varia para baixo significativamente pelo comprimento do queimador. Em uma modalidade, os fluidos pré-misturados são aquecidos a uma temperatura de cerca de 400°C por uma curta distância para o Aquecedor.

59. À medida que os fluidos pré-misturados escoam pelo aquecedor, o fluido permeia o material catalítico e sofre reação exotérmica cataliticamente ativada do combustível e oxidante. O calor liberado na reação eleva o material catalítico a uma temperatura que é aproximadamente constante ao longo do comprimento do queimador. Em uma modalidade, o material catalítico atinge uma temperatura de cerca de 450°C.

60. Outra modalidade envolve reciclagem de uma porção do gás de escape de saída para a entrada ou lado de alimentação. Nesta modalidade 1,0 kg/s de gás de escape é reciclado através de um compressor tipo ejetor de reciclo. O gás de motivo para o ejetor pode ser o oxidante ou o fornecimento de combustível, tal como a alimentação de oxigênio ou a alimentação de CH₄. Na modalidade de reciclo de gás, a permeabilidade do material catalítico deve ser maior para reduzir a queda de pressão total. Assim, por exemplo e sem limitação, a permeabilidade pode variar de 1,0 mDarcy na entrada a 100 mDarcy em direção à extremidade fechada do queimador.

61. Em uma modalidade, o tubo interno é eletricamente condutivo e pode ser aquecido eletricamente ao longo do comprimento para proporcionar uma fonte externa de calor para aumentar inicialmente a temperatura do aquecedor alto o suficiente para as superfícies catalíticas se tornarem ativas.

62. Em uma modalidade, um queimador piloto perto da entrada do tubo interno fornece uma fonte de calor para aumentar inicialmente a temperatura do aquecedor alto o suficiente para as superfícies catalíticas se tornarem ativas.

AQUECEDOR DE QUEIMADOR OU LEITO CATALÍTICO

63. Outra modalidade de um aquecedor é mostrada na Figura 4 como um Aquecedor de Leito Catalítico 400. A modalidade de aquecedor da Figura 4 pode incluir um ou mais dos elementos acima descritos, conforme o caso. O Aquecedor 400 da Figura 4 oferece uma série de zonas de reação discretas 450. Conforme descrito abaixo, o Aquecedor 400 da Figura 4 é fornecido com uma mistura de combustível e oxidante quase estequiométrica. O oxidante pode ser oxidante puro, tal como oxigênio puro, ou pode incluir um diluente não reativo. Em cada zona de reação, uma porção do combustível é misturada e reagida com o oxidante, produzindo uma mistura de oxidante mais diluída. Na última zona de reação o resto do combustível é reagido com o resto do oxidante, resultando em um gás de escape.

64. Em uma modalidade, uma série de zonas de reação são suportadas cada qual por um leito catalítico 455 indicado, sem limitação, como “Catalisador de Colmeia”. Um catalisador de colmeia é uma estrutura com vários canais de fluxo paralelos alinhados para permitir que os gases escoem através da estrutura. Os canais de fluxo podem ser hexagonais ou ter alguma outra área de seção transversal que permite a embalagem regular da estrutura. A colmeia é formada por ou revestida com um material catalítico. Tais catalisadores são utilizados como conversores catalíticos automotivos, por exemplo. Alternativamente, o leito catalítico 455 pode ser composto de péletes catalíticos, esferas ou extrusados.

65. As zonas de reação 450 estão dentro da região na qual o oxidante escoa. Combustível é fornecido a cada zona de reação por uma

linha de combustível separada 452 terminando em um bocal ou injetor 454 que promove a mistura de combustível e oxidante antes da entrada no leito catalítico associado 455. O combustível reage com o oxigênio dentro do catalisador, formando uma mistura de gases de escape e oxigênio residual. Combustível adicional é fornecido antes do próximo catalisador de colmeia e o processo prossegue até que o último catalisador de colmeia onde o resto de combustível e oxidante são feitos reagir.

66. Como mostrado na Figura 4, a Passagem de Fluxo Interna 403 prevê o fluxo de um oxidante, como mostrado pelas setas axiais 420. Uma ou mais Linhas de Combustível 452 se estendem pelo Queimador 400, seja na Passagem de Fluxo Externa 405 ou dentro da Passagem de Fluxo Interna 403. As Linhas de Combustível 452 fornecem combustível para o Aquecedor e terminam em um ou mais Injetores de Combustível 454 que injetam combustível no oxidante da Passagem de Fluxo Interna 403. Em uma modalidade, existe uma Linha de Combustível tendo um número de Injetores de Combustível e em uma outra modalidade há um feixe de Linhas de Combustível, cada uma terminando com um Injetor de Combustível. Múltiplas linhas de combustível 452 poderão ser colocadas simétrica ou assimetricamente em torno da Passagem de Fluxo Interna 403.

67. A Barreira de Fluxo 410 da modalidade da Figura 4 não é permeável como na Figura 3 e não se estende por toda a Extremidade de Aquecedor Fechada 404. Além disso, uma série de Catalisadores de Colmeia 455 permite que o combustível e o oxidante escoem para a Extremidade de Aquecedor Fechada 404. A mistura de combustível e oxidante ocorre imediatamente antes de cada Catalisador de Colmeia e as reações entre o combustível e o oxidante ocorrem dentro de cada Catalisador de Colmeia. Os Gases de Escape escoam da Extremidade de Aquecedor Fechada 404 através da Passagem de Fluxo Externa 405 para a Porção de Entrada/Saída de Gás 406.

68. Em uma modalidade, materiais refratários são utilizados

perto do ponto de injeção de combustível para proteger o Aquecedor de excesso de calor e corrosão. Assim, em uma modalidade, os Injetores de Combustível são de cerâmica. Em outra modalidade, revestimentos de cerâmica são fornecidos em superfícies de metal onde o combustível e o oxidante reagem ou podem reagir, tal como perto de cada Injetor de Combustível.

69. Em várias modalidades, ar, ar enriquecido com O_2 , ou O_2 puro é fornecido através da Passagem de Fluxo Interna 403. Gás natural ou outro combustível é fornecido através de uma pluralidade de Injetores de Combustível 454 (um por Catalisador de Colmeia), onde o combustível é dosado, injetado e misturado com o gás na Passagem de Fluxo Interna 403. Assim, por exemplo e sem limitação, cada bocal de injeção de combustível 454 é seguido, a jusante, por um leito catalisador de oxidação 455 onde o gás combustível injetado é completamente oxidado pelo O_2 que está presente na linha de oxidante. A concentração de oxidante diminui à medida que o oxidante flui através do aquecedor. Em uma modalidade, é fornecido oxidante suficiente para consumir todo o combustível no último catalisador de colmeia.

70. O leito catalítico desta modalidade pode ser do projeto “colmeia” padrão, tal como aqueles utilizados em aplicações automotivas. Esses catalisadores de colmeia operam com uma velocidade de gás de cerca de 1 a 2 m/s (a fim de fazer transferência de massa do gás a granel para a Barreira de Fluxo 410 possível em um comprimento de canal razoável). O uso de O_2 puro é, portanto, favorável para minimizar as dimensões do aquecedor. Para facilitar a mistura, os bocais de injeção de combustível 454 são preferencialmente colocados perto de cada leito catalisador 455, de modo que as seções de tubos a seguir forneçam tanto transferência de calor quanto mistura de combustível no gás a granel. Mistura eficiente é desejável porque a velocidade de gás baixa pode causar problemas de eficiência de mistura, levando potencialmente aos chamados pontos quentes no catalisador.

71. Em uma modalidade, o leito catalítico inclui um metal ativo

suportado por um material cerâmico poroso catalítico. Em outra modalidade, o leito catalítico 455 é a superfície interior de uma frita de metal poroso. Ainda noutra modalidade, o leito catalítico 455 é um metal ativo suportado por uma frita de metal poroso ou tela. Em outra modalidade, o leito catalisador 455 é composto de contas, péletes ou extrusados porosos suportando um metal ativo.

72. A Figura 5 mostra a distribuição de temperatura resultante de uma simulação numérica do desempenho de uma modalidade específica da modalidade de aquecedor da Figura 4. Os resultados da Figura 5 mostram as primeiras 10 de 20 zonas de reação, nas quais os perfis de temperatura se repetem quase que de forma idêntica em cada zona. Nesta modalidade, 0,8 kg/s de O_2 puro é fornecido a Passagem de Fluxo Interna 403, e vinte Injetores de Combustível para CH_4 são distribuídos a 30 m entre si ao longo do comprimento do aquecedor. Cada Injetor de Combustível 454 é alimentado com 0,01 kg/s de CH_4 . O Aquecedor global, portanto, é classificado a 10 MW e tem um comprimento de 600 m, uma Passagem de Fluxo Interna 403 de diâmetro de 300 mm, e um diâmetro de Alojamento de 350 mm.

73. O perfil de temperatura do tubo interno é caracterizado por picos após cada leito catalisador de colmeia 455 de aproximadamente 800°C, seguidos por uma diminuição da temperatura devida à transferência de calor a uma temperatura de cerca de 530°C antes do próximo leito catalisador de colmeia 455 ser atingido. Esta simulação inclui a transferência de calor convectiva e despreza a transferência de calor radiante e, portanto, espera-se uma superprevisão das temperaturas de aquecedor reais. A temperatura do gás de escape é uma temperatura quase constante de 470°C.

74. Como exemplo de um sistema para controlar temperaturas de aquecedor, a Figura 4 ilustra uma modalidade com sensores de temperatura (TS) 460 opcionais para medir a temperatura do revestimento ao longo do Aquecedor. Como mostrado, cada leito catalisador 455 tem um sensor de temperatura associado 460. O sistema

de controle mostrado esquematicamente na Figura 2 pode ser incluído nesta ou em outras modalidades, conforme o caso. Cada sensor tem meios de comunicação, tal como um canal de comunicação elétrico ou de fibra ótica, com um controlador 200, como mostrado, por exemplo, na Figura 2. A uniformidade de temperatura ao longo do Aquecedor 400 pode ser controlada alterando as taxas de fluxo de combustível individuais para aumentar ou diminuir as temperaturas medidas.

75. Em modalidades alternativas, um queimador de alta temperatura substitui um ou mais dos leitos de Catalisador de Colmeia 455 da Figura 4, formando um Leito Catalisador/Aquecedor à base de Queimador combinado, ou em casos extremos, um Aquecedor totalmente Baseado em Queimador. Cada queimador queima axialmente na Passagem de Fluxo Interna 403 sem impingir chama na parede de aço ao redor. Em uma modalidade, um revestimento de cerâmica é fornecido dentro da Passagem de Fluxo Interna 403 para proteger essa superfície.

76. Em outra modalidade alternativa, um gás combustível de baixo BTU (que contém componentes inertes) é usado como um combustível. Para tal combustível, pode ser vantajoso inverter a operação da modalidade de aquecedor da Figura 4 tendo o combustível direcionado para o centro e a alimentação de oxidante separadamente por tubos individuais alimentando as zonas de reação. Esta configuração pode ter o benefício de controlar a quantidade de geração de calor mais precisamente em cada seção.

AQUECEDOR DE PAREDE CATALÍTICA

77. Outra modalidade de um aquecedor é mostrada na Figura 6 como um Aquecedor de Parede Catalítica 600. A modalidade de aquecedor da Figura 6 pode incluir um ou mais dos elementos acima descritos, conforme o caso. Tal como na modalidade da Figura 4, a Barreira de Fluxo 610 não se estende para a Extremidade de Aquecedor Fechada 604. Oxidante é fornecido através da Passagem de Fluxo Interna

603, onde ele flui para a Extremidade de Aquecedor Fechada 604 e, então, flui através da Passagem de Fluxo Externa 605 para a Porção de Entrada/Saída de Gás 606. Uma ou mais Linhas de Combustível 652 incluem uma pluralidade de Injetores de Combustível 654 que direcionam combustível para a Passagem de Fluxo Externa 605. A superfície interna do Alojamento de Queimador ou revestimento 608 inclui um Catalisador 615. O combustível e o oxidante assim se misturam ao longo do comprimento do Aquecedor 600 e reagem sobre a Superfície do Alojamento de Queimador. Como mostrado na figura, múltiplos pontos de injeção 654 podem ser posicionados em torno da circunferência do tubo interno 610.

78. Em modalidades alternativas, o ar ou o gás de escape reciclado com oxigênio encravado é fornecido através da Passagem de Fluxo Interna 603 que serve como um tubo de liberação de ar da Extremidade de Aquecedor Fechada 604. O oxidante, então, flui de volta, contra o influxo, na Passagem de Fluxo Externa 605. O Alojamento de Aquecedor 608 inclui um catalisador cobrindo a superfície interna do Alojamento de Aquecedor 608, formando uma parede de catalisador 615. Injetores de Combustível 654 fazem parte de um coletor de Linhas de Combustível 652 e fornecem combustível ao oxidante ao longo do comprimento do aquecedor. Os Injetores de Combustível 654 são dimensionados e espaçados de tal forma que todo o combustível injetado é transferido por difusão e mistura turbulenta para a parede catalítica 615 na seção de tubo a jusante antes do próximo bocal de combustível. Reações exotérmicas intensificadas por catalisador ocorrem no catalisador, onde a mistura é rica em oxigênio, perto da extremidade fechada do aquecedor e perto da estequiometria na outra extremidade. A parede é, portanto, mantida a uma temperatura em torno de 500°C ao longo do comprimento do aquecedor.

79. Em modalidades alternativas, a parede catalítica 615 é movida do tubo de fora para o tubo de dentro para permitir transferência de calor curar a uma temperatura inferior através da parede exterior. Em

uma modalidade alternativa, a parede catalítica está do lado de fora do tubo interno 610. Em uma segunda modalidade alternativa, os fluxos são invertidos e a parede catalítica 615 está no interior do tubo interno 610. Nesta modalidade, os injetores de combustível 654 podem estar localizados dentro do tubo interno.

80. Em uma modalidade, a parede catalítica 615 é uma série de tubos de cerâmica que podem ser, por exemplo e sem limitação, de alumina ativada ou alumina revestida com um metal ativo. A pequena folga entre os tubos de alumina e o tubo de aço pode ser feita estanque a gás por tapete comprimido e flexível instalado na folga em locais adequados. Um projeto alternativo de catalisador de parede é um material catalítico “tipo tapete” metálico que pode ser fixado diretamente à superfície de aço.

81. Esta modalidade de aquecedor presta-se a reciclagem de gás de escape dentro do aquecedor: a baixa queda de pressão tanto no tubo de alimentação interno quanto no anular externo torna um ejedor padrão possível na saída do lado de gás de escape, de forma que uma fração do gás de escape é sugada para a alimentação por o tubo interno. O gás de motivo para este ejedor é a alimentação de O_2 a alta pressão da instalação de superfície. Esta modalidade tem a vantagem de proporcionar um menor volume de gás de escape consistido em apenas CO_2 e H_2O .

82. Esta modalidade de aquecedor também faz uso de troca de calor contracorrente adicional entre o lado de gás de escape mais quente e o ar entrante (ou gás de reciclo com O_2 encravado). O aquecedor também pode ser projetado de modo que o fluxo de gás entrante desça pelo anular externo e o gás de escape de saída desça pelo anular interno.

83. Como outro exemplo de um sistema para controlar temperaturas de aquecedor, a Figura 6 ilustra uma modalidade tendo sensores de temperatura (TS) 660 para medir a temperatura do revestimento ao longo do Aquecedor. Sensores de temperatura 660 e o sistema de controle mostrado esquematicamente na Figura 2 podem ser incluídos nesta ou em outras modalidades, conforme o caso. Cada sensor

tem meios de comunicação, tal como um canal de comunicação elétrica ou de fibra ótica, com um controlador 200, como mostrado, por exemplo, na Figura 2. A uniformidade de temperatura ao longo do Aquecedor 600 pode ser controlada mudando as taxas de fluxo de combustível individuais para aumentar ou diminuir as temperaturas medidas.

84. A referência em todo este Relatório a “uma modalidade”, “a modalidade” ou “certa modalidade” significa que um aspecto, uma estrutura ou característica particular descrita em conexão com a modalidade está incluído em pelo menos uma modalidade. Assim, a aparição das frases “em uma modalidade”, “na modalidade” ou “em certas modalidades” em vários lugares em todo este relatório não se referem necessariamente às mesmas modalidades. Além disso, aspectos, estruturas ou características particulares podem ser combinados de qualquer forma adequada como seria evidente para um especialista na técnica a partir desta divulgação, em uma ou mais modalidades.

85. Assim, a tecnologia do presente Pedido foi descrita com algum grau de particularidade direcionado para as modalidades exemplificativas. Deve ser observado, porém, que a tecnologia do presente pedido é definida pelas seguintes Reivindicações interpretadas à luz da técnica anterior, de modo que modificações ou mudanças poderão ser feitas nas modalidades exemplificativas sem se afastar dos conceitos inventivos aqui contidos.

REIVINDICAÇÕES

1. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, sendo dito aquecedor (300), que compreende:

um alojamento (308) alongado tendo uma extremidade fechada (304) e incluindo:

uma primeira região de alojamento adaptada para aceitar fluidos do fornecimento de combustível (204) e do fornecimento de oxidante (208); e

uma segunda região de alojamento proporcionando um caminho de fluxo de saída para gases de escape criados pela reação do combustível (204) e do oxidante (208); e

um meio de restrição de fluxo (310) alongado incluindo um material catalítico (310), interposto entre as ditas primeira e segunda regiões de alojamento, em que uma permeabilidade do material catalítico (310) aumenta com a distância ao longo do aquecedor;

caracterizado por que fluidos aceitos do fornecimento de combustível (204) e do fornecimento de oxidante (208) escoam para a dita primeira região de alojamento, permeiam o dito meio de restrição de fluxo (310) ao longo de seu comprimento e reagem exotermicamente com o dito material catalítico (310); e

em que o dito meio de restrição de fluxo (310) está na forma de um tubo posicionado concentricamente dentro do dito alojamento (308) e estendendo-se para a extremidade fechada (304), de modo a criar uma queda de pressão através do meio de restrição de fluxo (310) entre a primeira e segunda regiões de alojamento.

2. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o dito alojamento (308) tem uma configuração tubular.

3. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o dito meio de restrição de fluxo (310) tem um interior que define dita primeira região de alojamento.

4. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o dito meio de restrição de fluxo (310) tem um interior que define dita segunda região de alojamento.

5. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que os ditos fluidos escoem transversalmente de uma maneira controlada e uniforme através do dito meio de restrição de fluxo (310).

6. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o aquecedor (300) é imersível em um depósito de óleo e por que as taxas de fluxo de combustível (204) e oxidante (208) fornecidos são tais que a reação exotérmica é suficiente para aquecer a superfície interna para manter o depósito de óleo a uma temperatura entre 275°C e 450°C.

7. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 6, **caracterizado** por que a reação exotérmica é suficiente para aquecer a superfície interna para manter o depósito de óleo a uma temperatura de

aproximadamente 350°C.

8. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 6, **caracterizado** por que a temperatura do alojamento (308) varia por menos de 10°C através de 10m de comprimento de aquecedor.

9. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 6, **caracterizado** por que a temperatura do alojamento (308) varia por menos de 20°C através de 10m de comprimento de aquecedor.

10. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 6, **caracterizado** por que a temperatura do alojamento (308) varia por menos de 40°C através do comprimento do aquecedor.

11. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 6, **caracterizado** por que a temperatura do alojamento (308) varia por menos de 100°C através do comprimento do aquecedor.

12. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), sendo que dito aquecedor (300) compreende:

um alojamento (308) alongado tendo uma extremidade fechada (304) e incluindo:

uma primeira região de alojamento se estendendo ao longo de um comprimento do dito alojamento (308) e adaptada para aceitar fluido de um do fornecimento de combustível (204) e do fornecimento de oxidante (208); e uma segunda região de alojamento fornecendo um caminho de fluxo de saída para gases de escape criados pela reação do

combustível (204) e do oxidante (208);

uma barreira de fluxo disposta entre as ditas primeira e segunda regiões de alojamento de tal forma que a primeira região de alojamento e a segunda região de alojamento estejam em comunicação de fluido na extremidade fechada (304); e

uma pluralidade de leitos de catalisador dispostos ao longo de um comprimento da dita primeira região de alojamento, cada um dos ditos leitos de catalisador tendo uma zona de reação correspondente; e

pelo menos um conduto para aceitar fluido do outro dentre o fornecimento de combustível (204) e o fornecimento de oxidante (208) e alimentar o mesmo a cada uma das ditas zonas de reação;

caracterizado por que os fluidos aceitos do fornecimento de combustível (204) e do fornecimento de oxidante (208) se misturam e reagem exotermicamente em cada dita zona de reação.

13. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 12, **caracterizado** por que o dito alojamento (308) tem uma configuração tubular e a dita barreira de fluxo está na forma de um tubo posicionado concentricamente dentro do dito alojamento (308).

14. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 13, **caracterizado** por que a dita barreira de fluxo tem um interior que define dita primeira região de alojamento.

15. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 13, **caracterizado** por que a dita barreira de fluxo tem um exterior que define dita segunda região de alojamento.

16. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 12, **caracterizado** por que o aquecedor (300) é imersível em um depósito de óleo e por que as taxas de fluxo de combustível (204) e oxidante (208) fornecidos são tais que a reação exotérmica é suficiente para aquecer a superfície interna para manter o depósito de óleo a uma temperatura entre 275°C e 450°C.

17. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 16, **caracterizado** por que a reação exotérmica é suficiente para aquecer a superfície interna para manter o depósito de óleo a uma temperatura de aproximadamente 350°C.

18. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 16, **caracterizado** por que a temperatura do alojamento (308) varia por menos de 10°C através de 10m de comprimento aquecedor.

19. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 12, **caracterizado** por que cada dito leito de catalisador compreende o material de colmeia.

20. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 12, **caracterizado** por que cada dito leito de catalisador compreende um metal ativo apoiado por uma frita de metal poroso.

21. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 12, **caracterizado** por que cada dito leito de catalisador compreende um metal ativo apoiado por um material catalítico (310) cerâmico poroso.

22. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 21, **caracterizado** por que dito material catalítico (310) está em uma forma selecionada do grupo consistindo em péletes, esferas e extrusados.

23. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 12, **caracterizado** por que cada dita zona de reação tem um bocal de injeção associado ligado a dito pelo menos um conduto.

24. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 23, **caracterizado** por que um ou mais de cada bocal de injeção inclui um bocal queimador para promover a mistura e reação de fluidos aceitos.

25. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 23, **caracterizado** por que cada dito bocal de injeção tem um tamanho de bocal selecionado para compensar a queda de pressão ao longo do comprimento da dita primeira região de aquecedor (300) a fim de fornecer uma taxa de fluxo igual para cada dita zona de reação.

26. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 23, **caracterizado** por que o fluxo através do dito, pelo menos um, conduto é controlado na superfície para permitir controle ativo das taxas de fluxo de injeção dos bocais de injeção.

27. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 23, **caracterizado** por que pelo menos parte dos gases de escape é reciclada a partir da segunda região de alojamento para a primeira região de alojamento.

28. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 27, **caracterizado** por que os gases de escape são reciclados através de um compressor de reciclo tipo ejeter.

29. Método de Proporcionar Calor Para Pirolisar Formação de Hidrocarbonetos, em que o método compreende:

inserir um alojamento (308) alongado na formação de hidrocarbonetos, o alojamento (308) alongado tendo uma extremidade fechada (304), uma primeira região de alojamento adaptada para aceitar fluidos do fornecimento de combustível (204) e do fornecimento de oxidante (208), uma segunda região de alojamento proporcionando um caminho de fluxo de saída para gases de escape criados pela reação do combustível (204) e do oxidante (208) e um meio de restrição de fluxo (310) alongado incluindo um material catalítico (310), interposto entre as ditas primeira e segunda regiões de alojamento, **caracterizado** por que uma permeabilidade do material catalítico (310) aumenta com a distância ao longo do aquecedor;

injetar um oxidante (208) e um combustível (204) na referida primeira região de alojamento do dito alojamento (308);

escoar pelo menos um do dito oxidante (208) e do dito combustível (204) através de um meio de restrição de fluxo (310) incluindo um material catalítico (310), em que o dito meio de restrição de fluxo (310) está na forma de um tubo posicionado concêntricamente dentro do dito alojamento (308) e estendendo-se para a extremidade fechada (304), de modo a criar uma queda de pressão através do meio de restrição de fluxo (310) entre a primeira e segunda regiões de alojamento; e

reagir o dito combustível (204) e o dito oxidante (208)

exotermicamente com o dito material catalítico (310).

30. Método de Proporcionar Calor Para Pirolisar Formação de Hidrocarbonetos, de acordo com a Reivindicação 29, **caracterizado** por que inclui evacuar gases de escape criados fazendo reagir dito combustível (204) e dito oxidante (208) do citado alojamento (308).

31. Método de Proporcionar Calor Para Pirolisar Formação de Hidrocarbonetos, de acordo com a Reivindicação 30, **caracterizado** por que inclui aquecer pelo menos um do dito oxidante (208) e do dito combustível (204) com os referidos gases de escape.

32. Método de Proporcionar Calor Para Pirolisar Formação de Hidrocarbonetos, de acordo com a Reivindicação 29, **caracterizado** por que inclui escoar um do dito oxidante (208) e do dito combustível (204) através de uma pluralidade de leitos de catalisador.

33. Método de Proporcionar Calor Para Pirolisar Formação de Hidrocarbonetos, de acordo com a Reivindicação 32, **caracterizado** por que inclui injetar o outro do dito oxidante (208) e do dito combustível (204) próximo a cada leito de catalisador citado.

34. Método de Proporcionar Calor Para Pirolisar Formação de Hidrocarbonetos, de acordo com a Reivindicação 33, **caracterizado** por que inclui controlar a injeção de oxidante (208) e combustível (204) para manter um depósito de óleo circundando o dito alojamento (308) a uma temperatura entre 275°C e 450°C.

35. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que os fluidos na primeira região de alojamento escoem em direção à extremidade fechada (304) e por que os gases de combustão na segunda região de alojamento escoem para fora da extremidade fechada (304).

36. Aquecedor, (300), Operável Sobre Suprimento de Combustível e Suprimento de Oxidante, (208), de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que os gases de combustão são reciclados através de um compressor de reciclagem tipo ejeter.

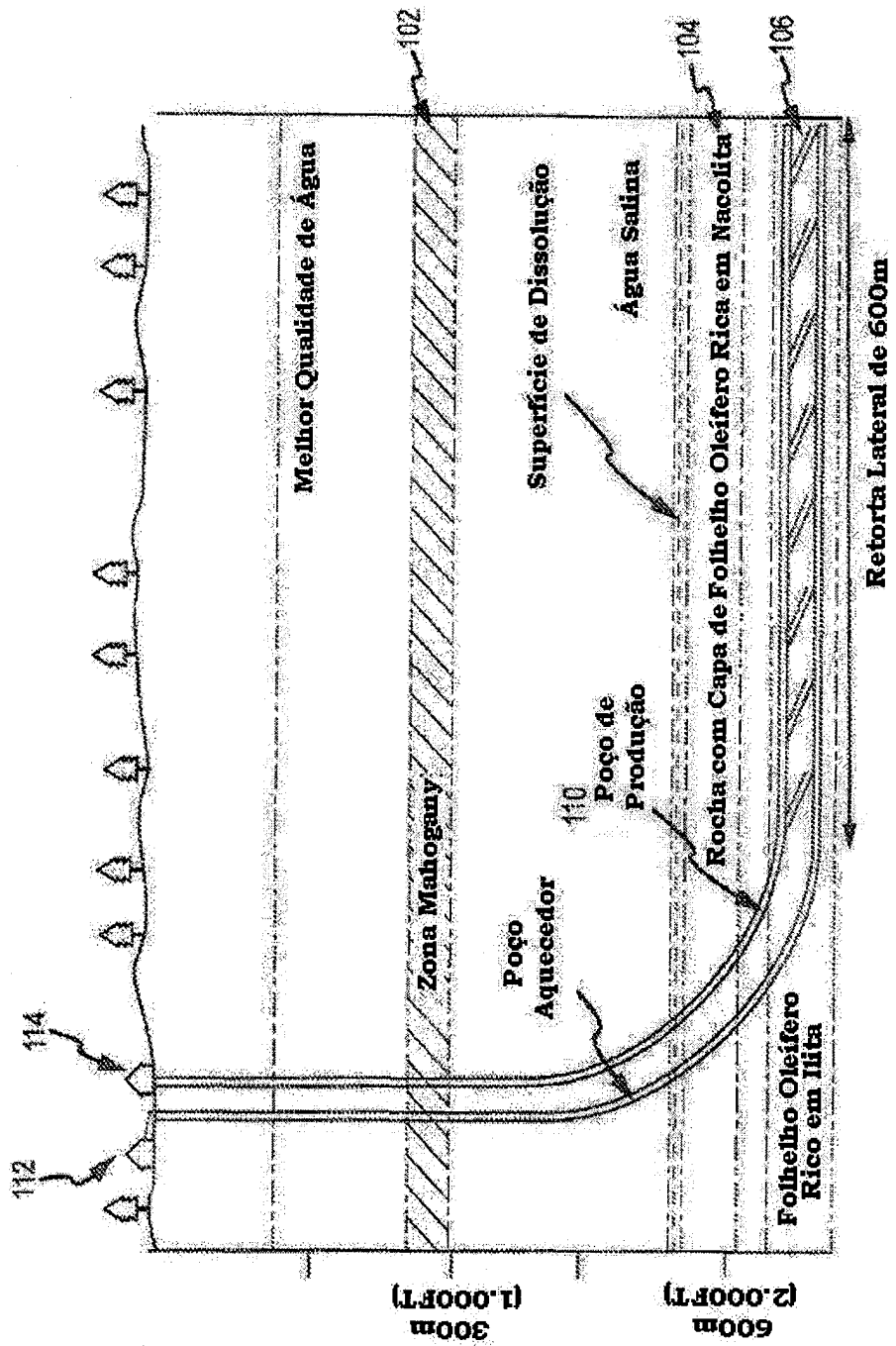


Figura 1

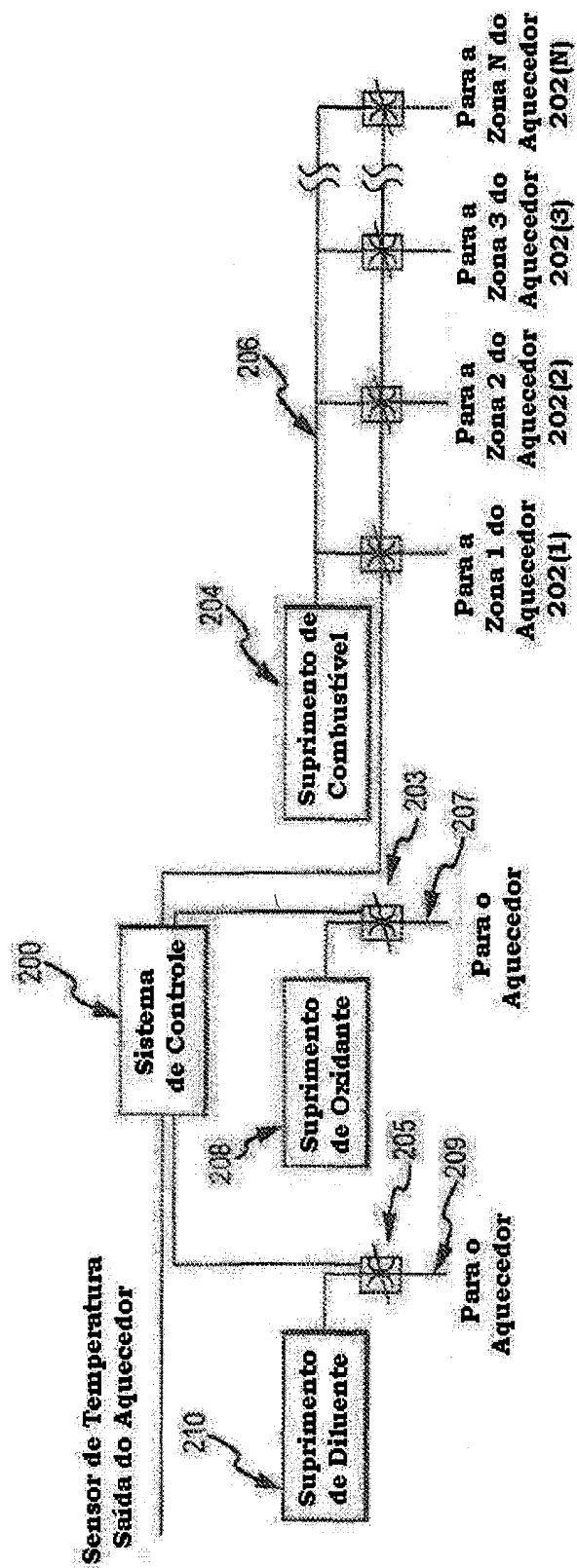


Figura 2

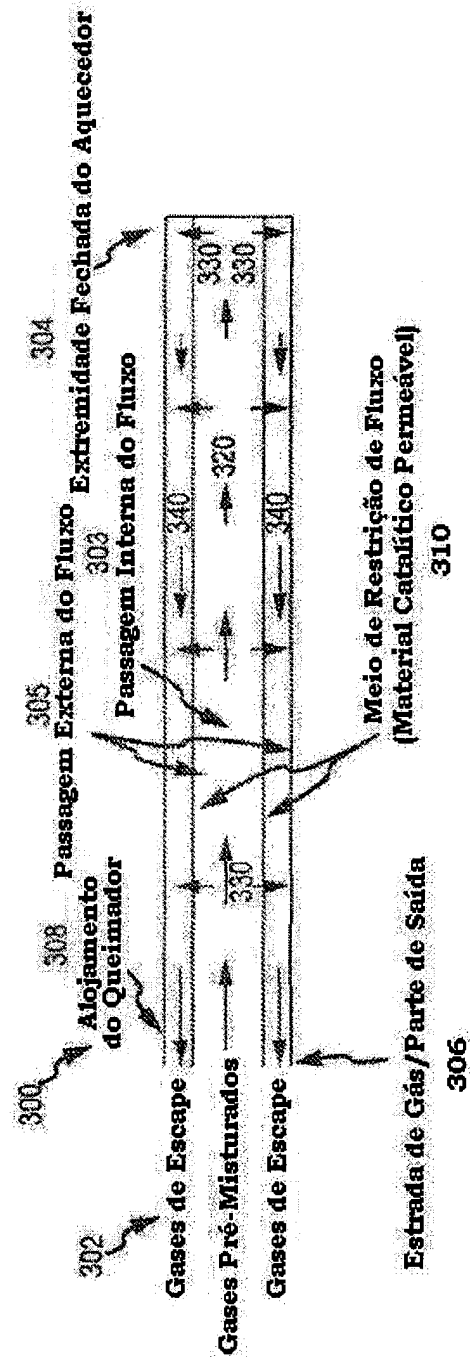


Figura 3

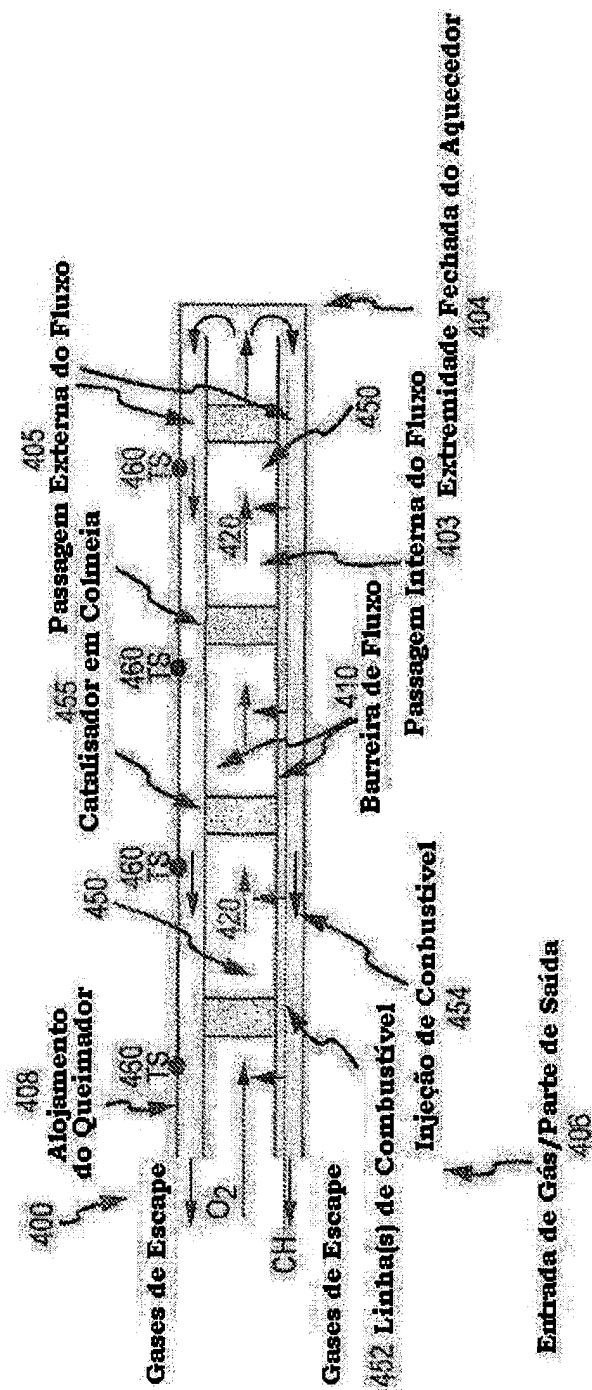


Figura 4

Perfis de Temperatura em Aquecedor de 300m (1.000 Pés) 35 cm
[14 Polegadas] que Fornece 5mw Para Piscina de Óleo de 400°C

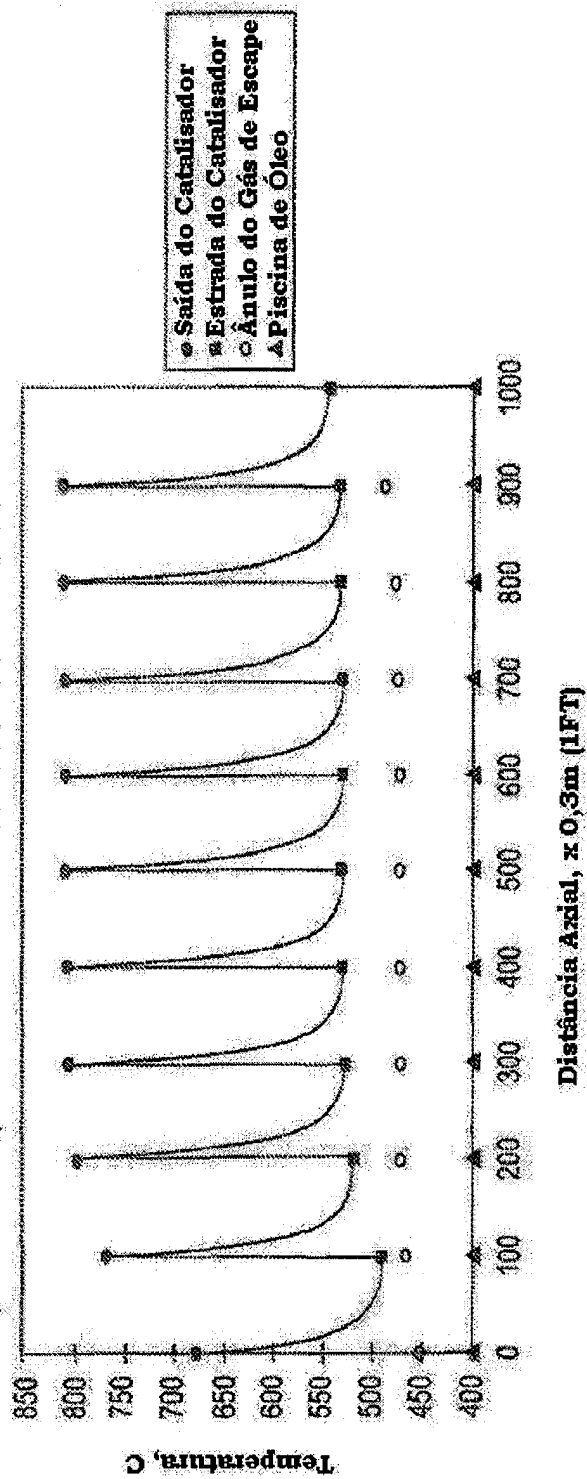


Figura 5

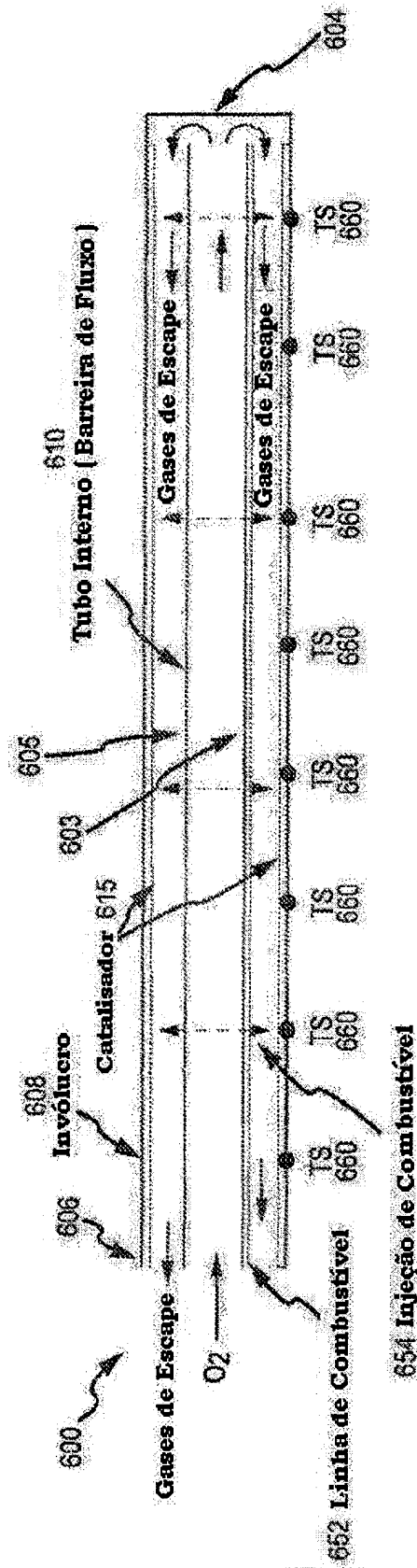


Figura 6