



**República Federativa do Brasil**

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,  
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



\* B R 1 0 2 0 1 7 0 0 8 3 5 5 B 1 \*

**(11) BR 102017008355-1 B1**

**(22) Data do Depósito:** 24/04/2017

**(45) Data de Concessão:** 16/05/2023

---

**(54) Título:** PROCESSO PARA A OXIDAÇÃO PARCIAL DE COMBUSTÍVEIS E O DISPOSITIVO PARA APLICAR O REFERIDO PROCESSO

**(51) Int.Cl.:** C01B 3/34; B01J 19/12.

**(52) CPC:** C01B 3/342; B01J 19/123; B01J 2219/0898.

**(30) Prioridade Unionista:** 27/04/2016 ES P 201630537.

**(73) Titular(es):** BLUEPLASMA POWER, S.L..

**(72) Inventor(es):** MARIO ARAYA BRENES.

**(57) Resumo:** A invenção compreende um processo para a produção de um gás a partir de um fluido combustível e um fluido oxidante, o referido processo compreende as etapas em que este é submetido à temperatura, ação fotocatalítica do fluido de entrada e a reação com catalisadores tudo em um dispositivo tendo uma estrutura de conduto que é atravessada em espiral pelo fluido de entrada que flui entre um leito fixo ligado às paredes do conduto e um leito de circulação com um fluxo de gás ionizado que ocupa uma posição central do conduto obtendo como resultado o gás obtido.

**"PROCESSO PARA A OXIDAÇÃO PARCIAL DE COMBUSTÍVEIS E O DISPOSITIVO PARA APLICAR O REFERIDO PROCESSO"**

[0001] A presente invenção se refere a A) um processo para a produção de um gás a partir de um fluido combustível e um fluido oxidante, B) um dispositivo para implementar o processo que se destina, e C) o gás finalmente obtido.

[0002] O processo compreende a reação de redução-oxidação de um fluido, que será denominado de fluido de entrada.

[0003] Este fluido de entrada compreende dois grupos de fluidos reagentes:

a) um deles é o combustível e compreende pelo menos um fluido combustível na forma líquida ou gasosa.

b) o outro é o oxidante e compreende pelo menos um fluido oxidante na forma líquida ou gasosa.

[0004] A reação ocorre em um dispositivo que compreende pelo menos um permutador de calor, pelo menos um gerador para produção de gás ionizado preferencialmente de plasma térmico, pelo menos, um protonador para o fluido oxidante, pelo menos um desprotonizador opcional para o fluido combustível e pelo menos um foto-reator, de preferência tubular, cujas paredes internas é um leito fixo contém pelo menos um tipo de catalisador, e ao longo da sua parte central um leito fluidizado circulante com um fluxo de gás ionizado preferivelmente que projeta luz de raios UV.

[0005] Há diferentes tipos de plasma térmico, que produzem um fluxo de gás ionizado conhecidos como maçarico de plasma que são aplicáveis a esta invenção; por exemplo incluem aqueles que trabalham por micro-ondas, indução/RF, arco elétrico e descarga de barreira dielétrica, no caso é preferido um de arco elétrico sem transferência de corrente contínua ou alternada, ou uma combinação de ambas, estes dois últimos têm a capacidade de projetar luz de raios ultravioleta por uma tocha com um fluxo de gás ionizado de alta temperatura, com base em pelo menos um dos seguintes elementos ou compostos do grupo: oxigênio, hidrogênio, dióxido de carbono de carbono, monóxido de carbono, vapor de água, nitrogênio, ar, hélio ou argônio, e o vapor de água protonada.

[0006] Para efeitos desta invenção, será chamado: fluido de entrada, o fluido que é introduzido no dispositivo e que compreende dois grupos de compostos:

a) O primeiro grupo ao qual chamaremos de fluido combustível compreende pelo menos um fluido combustível compreendendo uma molécula de pelo menos um átomo de carbono não oxidado;

b) O segundo grupo ao qual chamaremos fluido oxidante, que compreende pelo menos um fluido reagente doador de oxigênio, tal como ar, ar enriquecido com oxigênio, oxigênio, o dióxido de carbono ou vapor de água.

[0007] Chamamos gás obtido ou gás resultante da reação aquele que produz a oxidação parcial dos átomos de carbono do fluido combustível, sendo que o referido gás obtido é na maior parte, em volume, de monóxido de carbono e hidrogênio, ou dióxido de carbono e hidrogênio, dependendo da quantidade de fluido oxidante utilizado para cada caso.

[0008] O campo da técnica ao qual pertence a invenção é o dos processos e dispositivos de produção de energia.

#### FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

[0009] Os sistemas convencionais de fluxo de oxidação parcial por fluxo de gás ionizado, conhecidos como tocha de plasma térmico, empregam um reator com, pelo menos, uma tocha de plasma interna para gerar calor intenso, por onde normalmente passa pelo menos um reagente que fornece o oxigênio e pelo menos um combustível sob a forma de gás, líquido ou sólido, tais como hidrocarbonetos, biomassa, resíduos sólidos orgânicos e gás de pirólise para a produção de monóxido de carbono e hidrogênio quando o objetivo é de gerar gás de síntese, ou dióxido de carbono, e hidrogênio quando o objetivo é de gerar hidrogênio.

[0010] Tais sistemas convencionais de oxidação parcial da tocha de plasma para gerar calor, compreendem geralmente pelo menos um reator, uma tocha de plasma térmico dentro do reator e uma forma de alimentar os reagentes. Estes reatores compreendem tipicamente um recipiente de metal ou cerâmica,

por onde geralmente passa o gás ionizado do maçarico de plasma e o fluido de entrada.

[0011] Nestes sistemas convencionais, nem todas as moléculas de combustível e fluidos oxidantes entram em contato com a tocha de plasma e nem todos os tempos de residência são os mesmos para todas as moléculas, porque dentro do reator são formadas correntes diferentes em velocidade e afastamento em relação à tocha de plasma, deixando no caminho uma quantidade de combustível não reagido (CNR), que daqui em diante, para efeitos do presente documento, será denominado pela sua sigla.

[0012] Para evitar esses problemas, tem se tentado colocar a parede do reator, perto da tocha de plasma de modo que quando o fluido de entrada passa em torno do gás ionizado da referida tocha, haja uma propagação de radicais livres e ocorra a oxidação parcial do combustível entrante, no entanto, as paredes do reator sofrem uma deterioração acelerada devido as altas temperaturas de trabalho da tocha de plasma, por vezes, arrefecem as paredes dos reatores reduzindo a eficiência destes. Além disso, se neste sistema o fluido de entrada passa mais rápido para arrefecer as paredes com intuito de evitar sua deterioração, por conseguinte a porção de CNR é aumentada e a eficiência do processo também diminui.

[0013] No estado da técnica obtido pelas patentes onde é introduzido o combustível e agente oxidante em torno da tocha

de plasma para conseguir uma maior eficiência, reduz-se a percentagem de CNR e mantém-se ao mesmo tempo as paredes do reator a uma temperatura bem inferior à da tocha de plasma. Alguns documentos usam o termo conversão por vapor, em inglês conhecido como "steam reforming", em vez de oxidação parcial, e utilizam o termo gás de síntese para o gás parcialmente oxidado contendo principalmente hidrogênio com monóxido de carbono ou com dióxido de carbono.

[0014] Os esforços nesta direção são realizados pela empresa Foret Plasma Lab. LLC, por meio da patente US 9,163,584 de 20 de outubro de 2015, que trata de um reator cilíndrico de material cerâmico e com uma tocha de plasma ligado a uma turbina de conversão de combustível em um queimador de ar por pressão, funcionando em rotação. Além disso, Foret Plasma Lab. LLC, na Patente US 7,622,693 de 24 de novembro de 2009, descreve um reator de tronco cônico vertical com tocha de plasma, onde a matéria prima entra de modo rotativo pela parte superior que possui diâmetro maior na direção do fundo que possui diâmetro menor. A mesma empresa no pedido de patente US 2014/0209573 de 31 de julho de 2014, tratando do mesmo assunto da patente anterior, apenas focada na produção de gás de síntese para fornecer plantas elétricas, usa uma combinação de plasma de indução aplicado à parte externa do reator e do arco de plasma com o eletrodo inserido na parte central, dentro do reator cilíndrico ou em forma de

tronco cônico, de modo que o gás de entrada gire formando um vórtice em torno dele.

[0015] Igor Matveev, na patente US 7,973,262 concedida em julho de 2011, relacionada à conversão por tocha de plasma com vapor de água utilizando um dispositivo compreendendo vórtice triplo passando os reagentes (combustível e oxidante) na direção oposta ao gás ionizado da tocha de plasma.

[0016] A empresa Hynergreen Technologies S.A no pedido de patente internacional PCT/2007/141350 depositado em dezembro de 2007, descreve um procedimento através do qual pode-se converter combustível com vapor de água a baixa temperatura e a pressão atmosférica, utilizando um plasma de indução com descarga de barreira dielétrica, em que o cátodo é um cilindro de aço com uma rugosidade pouco perceptível, alcançando uma conversão de cerca de 0,006 m<sup>3</sup> por hora, utilizando uma potência de 15 a 30 kHz com uma frequência de 3 a 15 kHz, baixas temperaturas inferiores a 500 graus Celsius e à pressão atmosférica, conseguindo aproximadamente 0,0,002 m<sup>3</sup> por kWh consumido pelo plasma, com 15,7 minutos de tempo de residência.

[0017] A patente US 9,005,320 concedida em agosto de 2015 da empresa Alter NRG Corp., trata de um dispositivo cilíndrico vertical com entrada de tocha de plasma com metade da sua altura.

[0018] A empresa Platina na patente US 6,680,137 descreve um reator semelhante ao da Alter NRG incorporando a

recuperação de calor, declarando como a obtenção de conversão cerca de 4,54 kg de metano convertido por metro quadrado da superfície interna do reator.

[0019] A empresa Plasco na patente CA 2424805 descreve um foto- reator de duplo estágio para conversão do combustível com vapor de água ou oxigênio, em que no primeiro estágio extrai cinzas ou carvão para aplicar, e no segundo estágio, uma tocha de plasma para produzi-los com um oxidante uma oxidação parcial e, assim, obter mais gás de síntese no sistema.

[0020] Siemens, no pedido de patente US20150252274 descreve um reator de plasma que utiliza vapor de baixa temperatura para arrefecer as paredes do foto-reator de modo a trazer o gás combustível para a tocha de plasma. A universidade de Drexel, na patente US 7,867,457 de 2011, destaca como novidade que diferentes formas de turbulência podem ser induzidas em reatores cilíndricos com tocha de plasma, para acelerar o processo de oxidação parcial de gás combustível.

[0021] Idealmente, a uma pressão próxima da atmosférica, em temperaturas inferiores a 750°C, com tempo de residência inferior a 10 segundos e consumindo menos de 1 kWh por kg de carbono contidos no fluido combustível, o fluido de entrada alcança uma passagem única, uma oxidação parcial do fluido combustível, tendo uma conversão do gás obtido superior a 80%.



[0022] O estado atual da técnica ainda não encontrou uma solução econômica e prática para alcançar essas condições na conversão de combustíveis, e isso é precisamente, o que é conseguido com a presente invenção.

#### DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[0023] Pelo método da presente invenção, um fluido de entrada que compreende um fluido combustível e um fluido oxidante é submetido a uma série de condições e de contatos dentro de um dispositivo que compreende um foto-reator de modo a forçar uma reação de oxidação-redução para ocorrer a oxidação parcial dos átomos de carbono do fluido combustível, resultando em um gás obtido compreende principalmente monóxido de carbono e hidrogênio, ou dióxido de carbono e hidrogênio, dependendo da quantidade de fluido oxidante a ser utilizada em cada caso.

[0024] Por conseguinte, durante o processo, o fluido de entrada flui em vórtice ao longo do interior do foto-reator entre dois leitos, o leito fixo ligado à parede interna do corpo principal do foto-reator, que pode apresentar obstáculos ou protuberâncias e o leito de circulação que atravessa o centro do foto-reator e que compreende um fluxo de gás ionizado, de preferência um sistema de plasma térmico, formando, assim, o fluido de entrada, uma nuvem com turbulência expansiva e distribuição molecular homogênea, que quando exposta a um calor intenso do gás ionizado e ao efeito dos raios ultravioleta da tocha

de plasma, produz uma foto catálise heterogênea, a qual é ativada pela ação de, pelo menos, um catalisador de leito fixo, e faz com que se produza entre o fluido de combustível e fluido oxidante, uma reação de redução-oxidação em que a oxidação parcial do fluido combustível ocorre a temperaturas abaixo de 750°C, com tempos de residência inferiores a 10 segundos, a uma pressão próxima da atmosférica e com um consumo menor que 1 kWh por kg de carbono contidos no fluido combustível, obtendo-se assim um resultado de uma conversão de 80% do fluido de entrada para o gás obtido.

[0025] O catalizador de leito fixo compreende pelo menos uma substância pura, em mistura ou em liga, o seguinte grupo: ferro II e III, cobre, níquel, óxido de alumínio, dióxido de titânio, dióxido de silício, quartzo, molibdênio, cobalto, vanádio e tungstênio.

[0026] Os efeitos a que são submetidos o fluido combustível e o fluido oxidante no foto-reator para conseguir o gás obtido pela reação de oxidação-redução são essencialmente três que podem vir, formando sinergias entre eles.

1) **o efeito produzido pelo fluido de entrada por entrar em vórtice**, com turbulência expansiva e distribuição molecular homogênea, que se multiplica pela colisão com as protuberâncias que pode, opcionalmente, compreender o leito fixo que se encontra sujeito à parede interna do corpo principal do foto-reator; este vórtice induz a rotação do

gás ionizado da tocha de plasma e forma uma nuvem pressionada em torno de, e ao longo e em direção ao centro do referido gás ionizado, criando vários contatos com as moléculas, para formar um único fluido misturado, altamente ionizado e com distribuição molecular homogênea.

2) **o efeito cascata de radicais livres** causado pelo contato do fluido de entrada com um leito de fluido circulante que compreende o gás ionizado, preferencialmente o fluido oxidante foi previamente protonado para elevar a sua propensão para ser reduzido, e o fluido de combustível foi previamente desprotonado para elevar sua propensão a ser oxidado.

3) **o efeito acima exposto, aumentado pela radiação dos raios ultravioletas gerados pelo fluxo de gás ionizado de uma tocha de plasma, por sua ação fotocatalítica** ativado por, pelo menos, um catalizador do leito fixo, como foi dito, compreende, pelo menos, uma substância pura, em mistura ou em liga, do seguinte grupo: ferro II e III, cobre, níquel, óxido de alumínio, dióxido de titânio, dióxido de silício, quartzo, molibdênio, cobalto, vanádio e tungstênio.

[0027] Com os efeitos acima, especialmente se eles são concorrentes, se obtém condições técnico-econômicas próprias e são surpreendentes obtidos para otimizar a rentabilidade nos processos de oxidação parcial

de combustível, vulgarmente conhecido como "processos de conversão", superando o estado da arte atual.

[0028] Para conseguir dentro do foto-reator, uma conversão superior a 80% do fluido de entrada para o gás obtido com um tempo de residência inferior a 10 segundos, a uma pressão próxima da pressão atmosférica, a temperaturas abaixo de 750°C e consumindo menos 1 kWh por kg de carbono contido no combustível, o processo objeto da presente invenção, compreende as seguintes etapas:

1. em uma primeira etapa, o fluido de entrada, compreendendo fluido de combustível e fluido oxidante, é introduzido no corpo principal do foto-reator, de uma forma tangencial para um fluxo de gás ionizado para dar início a um vórtice. Opcionalmente, o fluido de entrada pode ser pré-aquecido à sua entrada para o corpo principal do foto-reator.

2. em uma segunda etapa, o vórtice formado pelo fluido de entrada começa a correr ao longo do foto-reator pelo espaço entre o leito fixo e o leito de circulação.

3. em uma terceira etapa, ao passar o fluido de entrada em forma de vórtice, seu lado externo colide com o leito fixo ligado à parede interna do foto-reator e as protuberâncias opcionais de tal leito fixo, enquanto o seu lado interno colide com as moléculas do dito leito circulante que compreende o fluxo de gás ionizado quente

tendo, assim, características de um fluido quente que escoar em espiral com a turbulência expansiva.

4. em uma quarta etapa, o fluido de espiral com turbulência expansiva induz a rotação do fluxo de gás ionizado de modo a formar um único gás misto, altamente ionizado e com distribuição molecular homogênea, que será de chamado gás misto.

5. em uma quinta etapa, o gás misto absorve o calor intenso do fluxo de gás ionizado para produzir uma reação química de oxidação-redução mediante a qual se consegue o gás obtido.

[0029] O processo pode ser otimizado se o fluxo de gás ionizado vem de um sistema de tocha de plasma que se projeta raios ultravioletas, para exercer efeitos fotocatalíticos de alta temperatura, que aumentam ao interagir com, pelo menos, um catalisador de um leito fixo.

[0030] O gás obtido é um gás de síntese que por volume compreende principalmente monóxido de carbono, hidrogênio e dióxido de carbono e em menor quantidade traços de hidrocarbonetos e outros derivados do processo.

[0031] As quantidades percentuais de monóxido de carbono ou dióxido de carbono no gás obtido variam tornando-se maior ou menor, dependendo da quantidade de fluido oxidante presente no fluido de entrada. Uma proporção maior de fluido oxidante presente no fluido de

entrada terá uma proporção mais elevada de dióxido de carbono no gás obtido

[0032] O limite é determinado, quando todo o monóxido de carbono é convertido em dióxido de carbono e, se a partir deste ponto, a percentagem de fluido oxidante é aumentada no fluido de entrada, o que se chega a obter é uma combustão em que o hidrogênio também começa a se oxidar e se torna vapor.

[0033] O dispositivo para a realização do processo descrito compreende:

[0034] Um foto-reator, que compreende:

- Um corpo principal com um ou mais orifícios de entrada e um ou mais orifícios de saída, tendo o dito corpo principal uma forma de conduto.

- Um sistema que produz e injeta um fluxo de gás ionizado de alta temperatura.

- Um leito de circulação com um gás ionizado, de preferência plasma térmico.

- Um leito fixo ligado à parede interna do corpo principal do foto-reator e que pode compreender, opcionalmente, barreiras parciais, a que chamamos protuberâncias, sob a referida parede interna ou parte dela.

- Um catalisador em leito fixo.

[0035] O dispositivo pode ainda compreender:

- Um permutador de calor independente ou de preferência incorporado no próprio foto-reator, onde o gás obtido cede calor para o fluido de entrada.

- Um protonador para fluido oxidante e um desprotonador opcional para fluido combustível, ambos colocado de preferência antes do permutador de calor.

[0036] O foto-reator, com a estrutura de conduto, de preferência, tem em forma de tambor, cilíndrico ou tronco cônico levando neste caso, o injetor de fluxo de gás ionizado, de preferência, de um plasma térmico na base de maior diâmetro.

[0037] Quanto ao dimensionamento do foto-reator, o corpo principal tem ao longo do seu percurso, uma seção de conduto, cuja a média do diâmetro interno é de pelo menos 0,1 cm e máxima de 5 cm por cada quilograma de carbono contido no fluido combustível que percorrer ao longo dela, sendo o intervalo preferido de 0,4 cm a 1,5 cm; o comprimento mínimo é de 0,4 cm por quilograma de carbono contido no fluido combustível e o máximo é de 17 cm, com um intervalo preferido de 2 cm a 8 cm.

[0038] O leito fixo é ligado à parede interna do corpo principal do foto-reator e, se for caso, as protuberâncias estão ligadas a ela.

[0039] As protuberâncias podem ter qualquer geometria, e a distribuição deve ser de tal forma que complete o perímetro interno do corpo principal do foto-reator, sem que haja um canal aberto e em linha reta ao longo da

parede interna do conduto do foto-reator que comunica sua saída com área por onde passa o fluido de entrada, e a altura deve estar entre 3% e 40% da média do diâmetro interno do foto-reator, em que o intervalo preferido é de entre 15% e 25%.

[0040] O permutador de calor pode ser independente do foto- reator ou, de preferência, incorporado ao mesmo sendo constituído por uma cobertura ou revestimento que envolve o corpo principal do reator, deixando um espaço com este e, assim, convertendo-o em um permutador de calor com luva dupla, caso em que tem, entre outros, os seguintes métodos possíveis de transmissão de calor.

1) Ao circular o gás misto e o gás obtido no interior do corpo principal do foto-reator, que cede seu calor para a parede interna do foto-reator, que por sua vez transmite o fluido de entrada que passa entre a luva dupla e adjacente à referida parede, como ocorre nos permutadores de calor de luva dupla, e a passagem destes fluidos é preferencialmente para ser em contracorrente.

2) A introdução do fluido de entrada no canal por onde passa o fluxo de gás ionizado, movendo-se em vórtice em torno do referido fluxo, causando desse modo uma troca de calor direta.

3) E, como o foto-reator torna-se uma extensão do permutador de calor, devido a penetração do fluido de



entrada na área central oca e ao longo do foto-reator, onde passa os fluxos de gases ionizados.

O catalizador de leito fixo compreende pelo menos um composto puro ou em liga, em que o elemento principal é, pelo menos, do seguinte grupo: ferro II e III, cobre, níquel, óxido de alumínio, dióxido de titânio, dióxido de silício, quartzo, molibdênio, cobalto, vanádio e tungstênio.

[0041] O foto-reator é de preferência construído a partir de um material compreendendo pelo menos um composto do grupo em que o elemento principal é de cerâmica ou metal, ou uma combinação de ambos; os preferidos são o tungstênio, ferro/aço e quartzo.

[0042] Quanto ao gerador de gás ionizado é preferido, o de arco de plasma térmico de não elétrico sem transferir corrente contínua ou a indução de corrente contínua, ou uma combinação de ambas, todos com a capacidade para projetar a luz de raios ultravioletas com uma tocha de plasma que compreende um gás ionizado de alta temperatura produzido a base de pelo menos um dos seguintes elementos ou compostos do grupo: oxigênio, hidrogênio, dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de água, nitrogênio, ar, hélio ou argônio e de preferência vapor de água protonada.

#### BREVE EXPLICAÇÃO DA FIGURA

[0043] A figura 1 mostra em diagrama conceitual de um dispositivo, onde o processo da presente invenção é

realizado, assim, o foto-reator (1) que compreende um corpo principal (2) um espaço (3) entre a luva dupla por onde passa o fluido de entrada (4), depois o fluido oxidante passa por um protonador (10) e seu fluido combustível por um desprotonador (9) fluindo para cima para chegar ao interior do reator e acessar de modo tangencial o fluxo de gás ionizado (5) do plasma térmico, em seguida, passa em vórtice entre o leito de circulação (6) e o leito fixo (7) colidindo-se com as protuberâncias (8) do leito fixo (7).

#### DESCRIÇÃO DA MODALIDADE DA INVENÇÃO

[0044] Descreve-se aqui uma modalidade da invenção que não é única, mas uma das possíveis formas de aplicação, utilizando o dispositivo da figura 1. As unidades de medida das temperaturas são dadas em graus Celsius.

[0045] A patente tem por objetivo compreender um processo para oxidação parcial de um fluido combustível e para um fluido de entrada, compreendendo um fluido combustível e um previamente desprotonado e um fluido oxidante previamente protonado introduzidos em um dispositivo compreendendo:

[0046] Uma foto-reator (1), que por sua vez compreende:

- Um corpo principal (2) com uma ou mais orifícios de entrada e uma ou mais orifícios de saída, tendo o dito corpo principal uma estrutura de conduto de preferência cilíndrica ou tronco cônica e estando coberta por uma luva dupla de tal modo que é criado um espaço (3) por onde

se introduz o fluido de entrada (4) que em seu percurso recebe calor do corpo principal.

- Um sistema para produzir e injetar gás ionizado que compreende um fluxo de gás ionizado (5), de preferência proveniente de um injetor de plasma térmico que está de preferência na extremidade superior da seção maior do corpo principal.

- Um leito de circulação (6) com um gás ionizado.

- Um leito fixo (7) ligado à parede interna do corpo principal do foto-reator pode, opcionalmente, compreender barreiras parciais, a que chamamos de protuberâncias (8), sob a referida parede interna ou parte dela.

- Um catalisador em leito fixo compreendendo, pelo menos, um composto puro ou em liga, em que o elemento principal é, pelo menos, um do grupo seguinte: ferro II e III, cobre, níquel, óxido de alumínio, dióxido de titânio, dióxido de silício, quartzo, molibdênio, cobalto, vanádio ou tungstênio.

- Um protonador (10) para fluido oxidante e opcionalmente um desprotonador (9) para o fluido combustível, ambos colocados antes do permutador de calor.

[0047] O corpo principal está dentro de uma luva dupla que cria um espaço (3) que funciona como um permutador de calor durante a passagem do fluido de entrada (4) em contato com a parede do corpo principal no qual está ligada por sua face interna ao leito fixo (7) que têm as protuberâncias (8).

[0048] Dentro do corpo principal (2) se encontra o leito de circulação (6), de modo que o fluido de entrada (4) passa em vórtice entre o leito fixo (7) e o leito de circulação (6).

[0049] O processo se inicia com a passagem do fluido de entrada, onde a parte correspondente ao fluido combustível passa previamente por um desprotonador (10) e sua parte correspondente ao fluido oxidante passa por um desprotonador (9).

[0050] Após a protonação e desprotonação, o fluido de entrada flui através do espaço (3) entre a luva dupla do foto-reator e é ali que recebe calor ao passar fazendo contato com a parede do corpo principal (2).

[0051] O fluido de entrada (4) começa a passar de baixo para cima através do espaço (3) da luva dupla para entrar na parte superior do corpo principal e interno do foto-reator, entrando tangencialmente por onde passa o fluxo de gás ionizado (5) do plasma térmico e começa a passar em vórtice e a turbulência expansiva no interior do foto-reator, de cima para baixo, no sentido descendente; ou seja, passa em torno e em contato estreito, pelo lado interno, com o leito de circulação (6) com o fluxo de gás ionizado da tocha de plasma e o lado externo com o leito fixo (7) e as protuberâncias (8).

[0052] Durante esta passagem, o gás ionizado da tocha de plasma é misturado com o fluido de combustível e o fluido oxidante de modo a formar um único gás misturado para formar uma névoa ou nuvem altamente ionizados com distribuição

molecular homogênea, que ocorrem de modo simultâneo, com os seguintes efeitos:

1) **o efeito produzido pelo fluido de entrada por passar em vórtice**, com a turbulência expansiva e distribuição molecular homogênea, que se multiplica pela colisão com as protuberâncias que pode, opcionalmente, compreender o leito fixo que se encontra sujeito à parede interna do corpo principal do foto-reator; este vórtice induz a rotação do gás ionizado da tocha de plasma e forma uma nuvem pressionada em torno de, e ao longo e em direção ao centro do referido gás ionizado, criando vários contatos com as moléculas, para formar um único fluido misturado, altamente ionizado e com distribuição molecular homogênea.

2) **o efeito cascata de radicais livres** causado pelo contato do fluido de entrada com um leito de fluido circulante que compreende o gás ionizado, preferencialmente o fluido oxidante foi previamente protonado para elevar a sua propensão para ser reduzido, e o fluido de combustível foi previamente desprotonado para elevar sua propensão a ser oxidado.

3) **quando o fluxo de gás ionizado é gerado por uma tocha de plasma, o efeito produzido sobre o gás misturado por radiação dos raios de luz ultravioleta que é aumentado pela ação fotocatalítica** ao interagir com pelo menos um catalisador de leito fixo, que, como dito, compreende, pelo menos, uma substância pura, em mistura ou em liga, do

seguinte grupo: ferro II e III, cobre, níquel, óxido de alumínio, dióxido de titânio, dióxido de silício, quartzo, molibdênio, cobalto, vanádio e tungstênio.

Os três efeitos descritos oxidam parcialmente o fluido combustível, resultando no gás obtido. Este processo e dispositivo permitem o desenvolvimento dos efeitos mencionados, obtendo-se um processo de oxidação parcial que ocorre a temperaturas abaixo de 750° graus Celsius, a uma pressão de 200 milibar, com um tempo de residência de 0,2 segundos e consumindo 0,5 kWh por kg de gás natural.

**REIVINDICAÇÕES**

1. Processo para oxidação parcial de combustíveis, CARACTERIZADO pelo fato de que compreende as seguintes etapas:

a) introdução do fluido de entrada (4), que inclui o fluido combustível (9) e o fluido oxidante (10) no corpo principal (2) do foto-reator de forma tangencial ao fluxo de gás ionizado (5) para iniciar o fluxo de vórtice e protonar o fluido oxidante (10) antes de introduzi-lo no corpo principal (2) do foto-reator;

b) gerar o gás misto incluindo o fluido de entrada (4) e o fluxo de gás ionizado (5), altamente ionizado e com distribuição molecular homogênea;

c) realização de uma reação de oxidação-redução do fluido de entrada (4) absorvendo calor intenso do fluxo de gás ionizado (5) existente no gás misto e sendo ativada pela ação do pelo menos um catalisador no leito fixo (7) e, assim, produzir o gás a ser obtido, em que a realização de uma reação de oxidação-redução da etapa de fluido de entrada ocorre a uma temperatura inferior a 750°C; e

d) evacuar o gás a ser obtido na etapa (c) através do orifício de saída do corpo principal (2) do foto-reator.

2. Processo para oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO por adicionalmente compreender: reter o fluido de entrada (4) no interior do corpo

principal (2) do foto-reator por um tempo que é inferior a 10 segundos.

3. Processo para oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO pelo fato de que a realização de uma reação de oxidação-redução da etapa do fluido de entrada tem um consumo de energia que é menor do que 1 kwh por quilograma de carbono contidos no fluido combustível (9) do fluido de entrada (4).

4. Processo para oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO por adicionalmente compreender aquecer o fluido de entrada (4) antes de introduzir no corpo principal (2) do foto-reator.

5. Processo para oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO por adicionalmente compreender desprotonação do fluido combustível (9) do fluido de entrada (4) antes de introduzi-lo no corpo principal (2) do foto-reator.

6. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, conforme definido em qualquer uma das reivindicações anteriores, CARACTERIZADO por compreender um foto-reator, que inclui:

um corpo principal (2) com um orifício de entrada e um orifício de saída, em que o corpo principal tem uma configuração tubular;



um leito fixo (7) disposto em torno da parede interna do corpo principal tubular;

pelo menos um catalisador disposto no leito fixo (7);

um gerador de gás ionizado disposto em uma extremidade do corpo principal tubular do foto-reator, em que o gerador de gás ionizado é configurado para produzir um fluxo de gás ionizado (5) e está disposto em um centro do corpo principal (2) do foto-reator a uma temperatura de preferência não superior a 750°C;

em que o orifício de entrada está disposto adjacente ao fluxo de gás ionizado (5) para introduzir um fluido de entrada (4), compreendendo uma mistura de um fluido combustível (9) e um fluido oxidante (10), no corpo principal tubular do foto-reator tangencialmente ao fluxo de gás ionizado (5) produzido pelo gerador para iniciar um fluxo de vórtice que induz a rotação no fluxo de gás ionizado (5) para gerar um leito circulante na forma de uma nuvem que exerce pressão ao redor, ao longo e em direção a um centro do fluxo de gás ionizado (5), criando múltiplos contatos entre o fluxo de gás ionizado (5) e o fluido de entrada (4) até um único gás misto compreendendo o fluido de entrada (4), e o fluxo de gás ionizado (5) é gerado que é altamente ionizado e tem uma distribuição molecular homogênea; e

um protonador (10) conectado ao orifício de entrada do foto-reator, em que o protonador é configurado para protonar

o fluido oxidante a fim de aumentar sua propensão a ser reduzido.

7. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 6, CARACTERIZADO por compreender ainda um permutador de calor, definido no espaço (3) definido entre a luva dupla do corpo principal (2) do foto-reator, em que o permutador de calor está disposto de modo que o gás obtido ceda calor ao fluido de entrada (4).

8. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 7, CARACTERIZADO pelo fato de que o protonador (10) está disposto antes do permutador de calor.

9. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 7, CARACTERIZADO por compreender ainda um desprotonador (9) disposto antes do permutador de calor.

10. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 6, CARACTERIZADO pelo fato de que o leito fixo (7) inclui uma série de protuberâncias (8) unidas à parede interna.

11. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 6, CARACTERIZADO pelo fato de que o fluxo de gás ionizado (5) é produzido a partir de um gás que inclui vapor de água protonada.

12. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 6, CARACTERIZADO pelo fato de que a configuração tubular do corpo principal (2) é cilíndrica ou tronco cônica.

13. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 6, CARACTERIZADO pelo fato de que a configuração tubular do corpo principal (2) apresenta ao longo de uma extensão da mesma uma seção transversal cuja média do diâmetro interno é, por cada quilograma de carbono contido no fluido combustível, 0,1 cm a 5 cm.

14. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 6, CARACTERIZADO pelo fato de que o corpo principal (2) apresenta para cada quilograma de carbono contido no fluido combustível, um comprimento de 0,4 cm a 17 cm.

15. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 10, CARACTERIZADO pelo fato de que as protuberâncias (8) estão dispostas de modo a completar o perímetro interno do corpo principal (2) de modo que não haja um canal aberto em linha reta adjacente e ao longo da parede interna.

16. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 10, CARACTERIZADO pelo fato de que a altura das protuberâncias (8)

está entre 3% e 40% da média do diâmetro interno do corpo principal (2).

17. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 6, CARACTERIZADO pelo fato de que o fluxo de gás ionizado (5) compreende pelo menos um dos elementos ou compostos selecionados do grupo que consiste em: ar, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, hélio, argônio, dióxido de carbono, monóxido de carbono e água ou vapor de água, protonada ou desprotonada.

18. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 6, CARACTERIZADO pelo fato de que o fluido combustível (9) inclui moléculas de pelo menos um átomo de carbono não oxidado.

19. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 6, CARACTERIZADO pelo fato de que o fluido oxidante (10) inclui pelo menos um fluido reativo que fornece oxigênio selecionado do grupo constituído por: ar, ar enriquecido com oxigênio, oxigênio, dióxido de carbono ou vapor.

20. Dispositivo para aplicação do processo de oxidação parcial de combustíveis, de acordo com a reivindicação 6, CARACTERIZADO pelo fato de que o pelo menos um catalisador do leito fixo (7) inclui pelo menos um selecionado do grupo constituído por: ferro II e III, cobre, níquel, óxido de

alumínio, dióxido de titânio, dióxido de silício, quartzo, molibdênio, cobalto, vanádio e tungstênio.

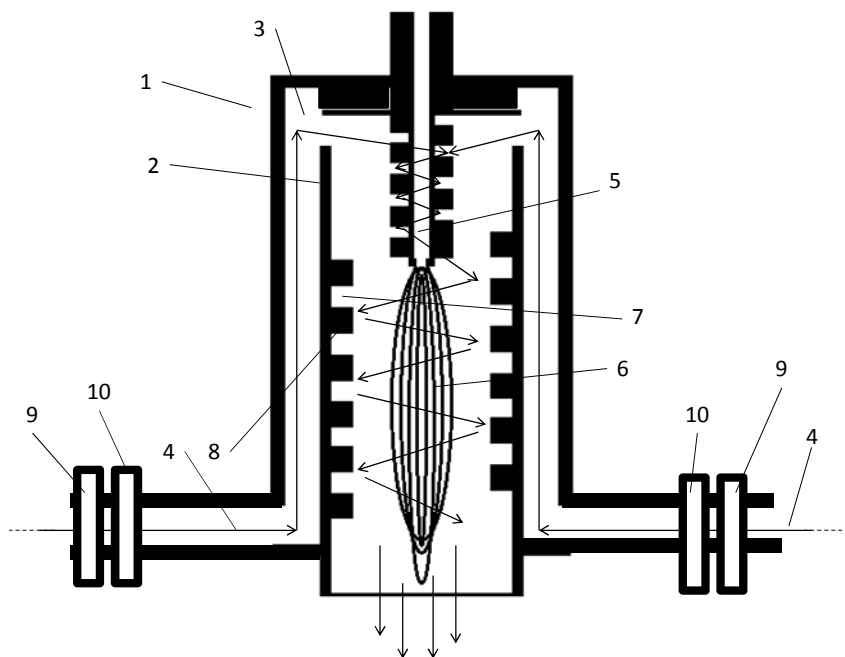


Figura 1