



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

(21) **PI 1002899-4 A2**



(22) Data de Depósito: 22/07/2010
(43) Data da Publicação: 20/03/2012
(RPI 2150)

(51) *Int.Cl.:*

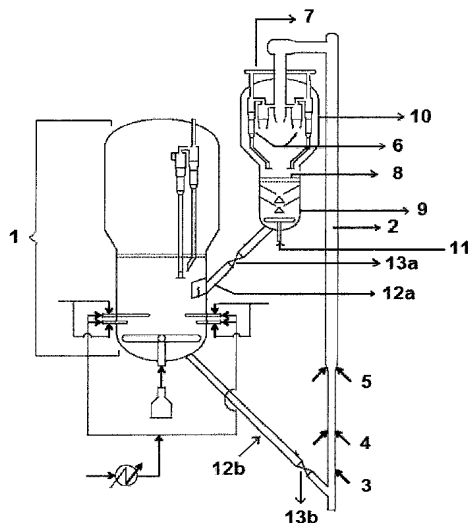
B01J 8/24
B01J 23/10
B01J 29/08
B01J 29/40
F01N 13/00

(54) **Título:** COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA E PROCESSO DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO FLUIDO ORIENTADO PARA A PRODUÇÃO DE OLEFINAS LEVES

(73) **Titular(es):** Petróleo Brasileiro S/A - PETROBRAS

(72) **Inventor(es):** Emanuel Freire Sandes, Geovani Aliatti, José Geraldo Furtado Ramos, José Mozart Fusco, Naiara dos Santos Lages, Nelson Patricio Junior, Ricardo Serfaty

(57) **Resumo:** COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA E PROCESSO DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO FLUIDO ORIENTADO PARA A PRODUÇÃO DE OLEFINAS LEVES. É descrito um combustor para atender a demanda energética de processos para produção de olefinas leves (eteno e propeno) em unidades de craqueamento catalítico em leito fluidizado. Tal combustor é responsável pela queima de óleo de aquecimento e manutenção da queima do coque depositado sobre o catalisador visando o aquecimento do mesmo para atender a demanda energética da reação, sendo a combustão realizada de maneira suave e uniforme, evitando a formação de pontos de elevada temperatura no interior do leito catalítico (hot spots) e na fase diluída após a combustão (afterburning), o que acaba por minimizar a desativação do catalisador e o risco de danos aos equipamentos internos do combustor.



COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA E PROCESSO DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO FLUIDO ORIENTADO PARA A PRODUÇÃO DE OLEFINAS LEVES

CAMPO DE APLICAÇÃO

5 A presente invenção se insere no campo de processos para produção de olefinas leves em unidades de craqueamento catalítico em leito fluidizado, sendo aplicável a processos nos quais a energia térmica produzida durante a reativação do catalisador pela combustão de coque é insuficiente para atender à demanda energética do conversor. Mais
10 especificamente, a presente invenção descreve um combustor de alta eficiência capaz de fornecer calor para o processo de craqueamento catalítico fluido destinado à produção de olefinas leves.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

 O FCC petroquímico é um processo de craqueamento catalítico em
15 leito fluidizado orientado para a produção de olefinas leves (eteno e propeno), que possui como características: o emprego de carga compreendendo hidrocarbonetos de baixo ponto de ebulição (faixa do diesel), inventário de catalisador altamente seletivo, com elevada proporção de zeólita da família do Pentasil em mistura com zeólita tipo Y,
20 temperatura de reação elevada em um reator tipo “riser”; e uma seção de “quenching” $\frac{1}{4}$ acima da seção de alimentação de carga do reator.

 Esta combinação de condições de processo resulta em elevada demanda de energia pela seção de reação e produção de uma parcela muito pequena de coque sobre o catalisador.

25 Como consequência, o coque queimado no regenerador, para recuperar a atividade do catalisador e gerar energia para o processo, alcança apenas entre 5% a 20% da energia total requerida, sendo necessária a adição contínua de calor ao processo para manter o balanço de energia do conversor.

30 O processo para o fornecimento de energia é via combustão de um

óleo no leito catalítico fluidizado do combustor (regenerador).

Portanto, é objeto da presente invenção um processo em que a regeneração do catalisador é realizada no interior de um combustor de alta eficiência, principal fonte de energia para o processo, de modo a evitar problemas como a ocorrência de pontos quentes no leito catalítico fluidizado do combustor ou no pós-queima na fase diluída do leito, que podem causar desativação irreversível do catalisador e danos aos equipamentos internos do combustor.

TÉCNICAS CORRELACIONADAS

Em um processo de craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC) convencional, a carga compreende hidrocarbonetos na faixa do gasóleo, adicionada ou não de resíduos pesados de hidrocarbonetos, além da geração de produtos como gás combustível, GLP, nafta craqueada, óleos leve e pesado, havendo a formação de um depósito carbonáceo ou coque sobre a superfície do catalisador. Em tais unidades de craqueamento, a reação é conduzida sobre um catalisador constituído em sua maior parte de zeólita tipo Y em um reator tubular tipo “riser”.

Quando ocorre a deposição de quantidades significativas de coque sobre o catalisador, este perde atividade e seletividade, levando a um menor rendimento dos produtos desejados como o GLP e a nafta craqueada. Assim, ao final das reações de craqueamento, no interior do “riser”, o catalisador tem sua superfície catalítica obstruída, pela deposição de coque, necessitando de reativação. Por outro lado, a seção de reação necessita de energia para a vaporização da carga líquida e para suprir as reações endotérmicas de craqueamento catalítico.

Para reativar o catalisador, com significativo depósito de coque (catalisador gasto), este é removido continuamente da seção de reação, escoando através de um leito retificador para remoção de hidrocarbonetos adsorvidos, através de injeção de vapor d’água, e deste para um regenerador, onde ocorre a reativação, propriamente dita, através da

reação de combustão do coque com um gás contendo oxigênio no interior de um leito fluidizado. Tradicionalmente utiliza-se ar ou ar enriquecido com oxigênio para promover às reações de combustão do coque. Através deste procedimento, além de recuperar a atividade catalítica gera-se energia

5 suficiente para promover a reativação do catalisador, além de suprir as perdas energéticas da regeneração (energia necessária ao aquecimento do ar e dos produtos de combustão), e paralelamente suprir a demanda energética da seção de reação.

Quando a demanda energética do “riser” e as perdas energéticas do regenerador são iguais à quantidade de calor liberado pela queima do

10 coque, diz-se que a unidade está em equilíbrio de balanço térmico. Em casos de processamento de cargas com elevado teor de resíduo, a formação de depósito de coque é significativamente maior e, deste modo, o calor gerado pela combustão do mesmo é superior à demanda térmica

15 total do conversor, sendo necessária a remoção do calor excedente do regenerador para restabelecimento do equilíbrio do balanço térmico, como por exemplo, através do emprego de trocadores de calor externamente ao regenerador para resfriar o catalisador.

Ainda no processo convencional, ou de cargas com elevado teor de resíduo, quando nas etapas transiente ou de curta duração como, por

20 exemplo, durante os preparativos de partida da unidade, ou ainda em operação normal, em casos em que a geração de coque não é suficiente para atender à demanda térmica, pode se utilizar a injeção de “torch-oil”, isto é, uma quantidade de óleo é alimentada para o interior do leito do

25 regenerador, e pela sua queima produz energia para atender a demanda térmica do conversor. No entanto, a simples injeção de “torch-oil”, no leito do regenerador, através de um bocal ou mesmo através de uma pluralidade de bocais, resulta em pontos locais com elevada temperatura, provocando desativação irreversível do catalisador e levando a problemas

30 de tensão térmica nos internos do regenerador, podendo causar danos

aos mesmos, ou combinação de ambos os efeitos.

A combustão contínua de óleo no interior de um leito catalítico fluidizado turbulento de FCC apresenta extrema complexidade técnica, constituindo um ponto crítico na realização deste processo, pois o não
5 atendimento a critérios específicos de desempenho resulta em impactos negativos na confiabilidade operacional e na rentabilidade da unidade.

Atualmente, encontram-se descritos na literatura métodos alternativos para fornecer energia ao leito do regenerador de modo a restabelecer o balanço térmico em unidades de FCC.

10 A patente **US 3,966,587** ensina a misturar intimamente óleo ao catalisador gasto em uma linha de transferência do retificador para o regenerador, escoando a mistura pelo efeito da gravidade. De acordo com este método, a combustão conjunta do óleo e depósitos de coque no catalisador evita o problema de formação de pontos quentes no leito do
15 regenerador e as conseqüências daí advindas.

A patente **EP 1285042** ensina um método para introduzir “torch-oil” e ar suficiente para a combustão do “torch-oil” em uma linha de transferência ascendente, em que o diâmetro da linha é aumentado para acomodar o aumento de velocidade provocado pela alimentação de ar de combustão,
20 buscando minimizar os resultados danosos do emprego do “torch-oil” diretamente no regenerador.

Assim, as patentes **US 3,966,587** e **EP 1285042** ensinam como corrigir o desequilíbrio do balanço térmico em unidades convencionais de FCC, evitando as desvantagens do emprego direto de “torch-oil” no leito
25 do regenerador. No entanto, tais documentos não apresentam uma solução para propiciar a distribuição da emulsão de catalisador gasto e óleo vaporizado ou adsorvido no catalisador, ao longo da seção transversal do regenerador, e dos produtos de combustão incompleta, de forma a propiciar um bom contato da emulsão e gases remanescentes
30 com o oxigênio no leito favorecendo a queima completa do “torch oil” no

interior do leito. Devido às restrições de velocidade e de temperatura local, estes métodos são aplicáveis apenas para condições de pequeno desequilíbrio térmico na unidade, isto é, para condições que necessitam de quantidade pequena ou moderada de “torch-oil”.

5 A patente **US 7,153,479** relata um método para remover catalisador da corrente de produtos efluentes de um processo de FCC para a produção de olefinas leves. A remoção do catalisador ocorre, preferencialmente, pela adição e recirculação de óleo combustível em uma torre de resfriamento, e com a lavagem dos finos de catalisador dos gases
10 efluentes, contemplando a recuperação do catalisador em óleo combustível, através da formação de uma lama (“slurry-oil”).

A formação desta lama (“slurry-oil”) permite suprir o balanço térmico de unidades de FCC para a produção de olefinas leves, em que a produção de coque é insuficiente para manter o balanço térmico.

15 No entanto, o método ensinado na patente **US 7,153,479** não propicia meios para realizar a combustão completa do “slurry oil” no leito de catalisador. Neste caso, há a saída de produtos de combustão incompleta do leito, assim como oxigênio não reagido, favorecendo, desta forma, a pós-queima (afterburning) na região de fase diluída, com
20 significativo aumento da temperatura local, concorrendo para a desativação irreversível do catalisador elutriado, assim como, danos aos equipamentos internos do regenerador.

O processo de combustão contínua de óleo, no interior de um leito fluidizado turbulento de catalisador de FCC, constitui um grande desafio,
25 pois apresenta extrema complexidade técnica para o atendimento de critérios específicos de desempenho, como por exemplo, a combustão completa do óleo no interior do leito fluidizado. Em caso de combustão incompleta no leito pós-combustão (afterburning), resulta em queima parcial dos hidrocarbonetos na fase diluída acima do leito, implicando em
30 aumento significativo da temperatura local impondo severos danos aos

equipamentos internos ou ciclones assim como desativação irreversível ao catalisador que, pelo fenômeno de elutriação, é arrastado do leito em grande quantidade.

Assim, a presente invenção relata um processo para realização da
5 queima completa de óleo no interior de um leito fluidizado, visando manter as condições de regeneração do catalisador gasto e suprir a demanda térmica da seção de conversão de um FCC voltado para a produção de olefinas leves, em “riser” provido ou não de seção de “quenching”, evitando os problemas de pontos quentes ou “hot spots” no leito e
10 “afterburning” na fase diluída do combustor e as conseqüências indesejáveis daí advindas.

SUMÁRIO

De um modo amplo, a presente invenção trata de um combustor de alta eficiência e um processo de craqueamento catalítico em leito fluidizado
15 destinado à produção de olefinas leves.

No processo de craqueamento catalítico objeto da presente invenção, a energia térmica produzida durante a regeneração do catalisador pela combustão do coque é insuficiente para atender a demanda energética do conversor, sendo o aquecimento e regeneração do catalisador gasto
20 realizados no interior de um combustor de alta eficiência, no qual a combustão de óleo é a principal fonte de energia para o processo.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 ilustra um esquema do processo para craqueamento catalítico em leito fluidizado ou FCC Petroquímico para produção de
25 olefinas leves indicando a parte inferior e a parte superior que compõem o combustor de alta eficiência que faz parte do dito processo.

A Figura 2 ilustra um esquema do combustor de alta eficiência que compõe o FCC Petroquímico.

A Figura 3 ilustra uma vista superior de um corte da seção
30 transversal da seção inferior do combustor contendo lanças de comprimen-

tos diferentes.

A Figura 4 ilustra uma vista em planta da seção inferior do combustor compreendendo diversas lanças colocadas na parte radial do fundo do combustor em três níveis diferentes de altura do fundo do combustor de alta eficiência.

DESCRIÇÃO DETALHADA

A presente invenção trata de um combustor de alta eficiência, compreendendo uma pluralidade de lanças, por onde é injetado um óleo de aquecimento (OAQ), cuja combustão é capaz de complementar a demanda energética de uma unidade de FCC.

A combustão de tal óleo é efetuada de modo a evitar a formação de pontos concentrados de elevada temperatura ("hot spots") no interior do leito fluidizado do combustor e na fase diluída após a combustão ("afterburning"), minimizando a desativação do catalisador e o risco de danos aos equipamentos internos do combustor.

Outro aspecto da invenção é um processo de craqueamento catalítico fluido voltado para a produção de olefinas leves, ou FCC Petroquímico, em que as reações se processam em um reator tubular de fluxo ascendente ou "riser" sobre catalisador contendo zeólita tipo Pentasil, em maior proporção, em mistura com zeólita tipo Y trocada ou não com terras raras, na forma de partículas sólidas. Em tal processo, um combustor de alta eficiência é empregado para manutenção do balanço térmico, além de promover a regeneração do catalisador.

Conforme ilustrado na Figura 1, um catalisador constituído em sua maior parte por uma zeólita da família Pentasil em mistura com uma menor parte de zeólita tipo Y, apresentando baixo teor de composto de carbono ou coque proveniente do combustor (1), e aquecido em temperatura superior a 700°C, alimenta a parte inferior da base de um reator tubular de fluxo ascendente ou riser (2). Acima deste é introduzida uma corrente de vapor d'água (3) para promover a fluidização turbulenta e arraste do

catalisador e na seqüência é alimentada uma corrente aquecida de hidrocarbonetos leves na faixa do diesel ou de uma carga (4) de hidrocarbonetos mais pesada, através de um conjunto de atomizadores radiais que utiliza vapor d'água como fluido de atomização.

5 A carga (4) finamente dispersa vaporiza ao entrar em contato com o catalisador dando início às reações de craqueamento e a geração de produtos. Com o objetivo de aumentar a conversão e seletividade para olefinas leves, um fluido de resfriamento rápido ou quenching (5) é alimentado a $\frac{1}{4}$ do riser (2) acima do ponto de injeção da carga (4).

10 As reações de craqueamento continuam a ocorrer na seção superior da injeção do quenching (5) que opera em temperatura igual ou superior a 580°C.

 A mistura de produtos e catalisador desativado passa através de um sistema de ciclones (6) para a separação dos produtos gasosos (7) do catalisador.

15 O produto gasoso (7) efluente, rico em olefinas leves, é alimentado para a seção de recuperação de produtos e o catalisador desativado passa através de um leito fluidizado (8) no interior de um retificador (9) que se encontra abaixo de um vaso separador (10).

20 O catalisador desativado se encontra em fluxo contracorrente após injeção de vapor d'água (11), para a remoção de hidrocarbonetos adsorvidos.

 O catalisador resultante, contendo um depósito reduzido de coque, ligeiramente superior ao do catalisador alimentado na base do riser (2) é transferido em fase densa, através de uma tubulação ou "standpipe" de catalisador gasto (12a) contendo uma válvula corredeira de controle de circulação (13a) para o combustor (1). Conforme arranjo da Figura 1 o catalisador regenerado é transferido através de um "standpipe" de catalisador regenerado (12b). Este "standpipe" é inclinado e externo ao vaso do combustor (1), e contém uma válvula corredeira de controle de

circulação (13b).

A velocidade dos vapores no riser (2) deve ser suficiente para garantir o escoamento estável do catalisador, sendo realizada abaixo do ponto de injeção de carga (4). Uma injeção de vapor auxiliar, denominado vapor de arraste é utilizada para suspender o catalisador até os bocais de entrada da carga (4). Assim, a carga (4) líquida injetada próximo da base do reator ou riser (2) é vaporizada e reage formando produtos, na sua maior parte vaporizados, que contribuem para o arraste das partículas de catalisador por todo o percurso no riser (2).

Na seção localizada entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$ acima do ponto de introdução da carga (4) no riser (2), é injetado um fluido de resfriamento rápido ou quenching (5) na proporção entre 15% e 30% da vazão mássica da carga (4), em pelo menos um ponto, de modo a criar uma segunda seção de reação, visando favorecer a produção de olefinas leves pelo aumento da circulação de catalisador e ao mesmo tempo pelo resfriamento, inibir as reações indesejáveis e contribuindo simultaneamente para a estabilidade de escoamento do catalisador.

No combustor (1) é realizada a reativação do catalisador através da reação de combustão do coque com ar no interior de um leito catalítico fluidizado (14) de fluxo turbulento, conforme Figura 2. No entanto, o calor liberado apenas pela queima do coque é insuficiente para manutenção das reações de combustão e aquecimento do catalisador e para suprir a necessidade térmica da reação, isto é, o somatório da energia dos processos compreendidos pelo aquecimento e vaporização da carga, do aquecimento dos produtos até a temperatura de reação e do calor endotérmico de reação.

Para suprir energia para o catalisador, a manutenção da queima do coque ou reativação do catalisador e aquecimento do mesmo e para atender a demanda energética da reação de craqueamento, é realizada a combustão de um óleo de aquecimento (OAQ) no interior de um combustor

(1).

A combustão do óleo de aquecimento é realizada de maneira suave e uniforme, com alta eficiência, evitando a existência de pontos com elevada temperatura ("hot spots") no interior do leito fluidizado (14) e na
5 fase diluída após a combustão (afterburning), minimizando a desativação do catalisador e o risco de danos aos equipamentos internos do combustor (1), como ciclones (15) e dutos internos ou pernas dos ciclones (dip-legs) (16), conforme ilustrado na Figura 2.

Ainda segundo as ilustrações da Figura 2, o combustor (1)
10 compreende um vaso com duas seções distintas, uma seção inferior (17) e outra seção superior (18).

A seção inferior (17) compreende um leito catalítico fluidizado (14) em regime turbulento, promovido pela passagem de ar e produtos de combustão.

15 A alimentação de ar (19) realizada na seção inferior (17) do leito catalítico fluidizado (14) é efetuada por um ou mais distribuidores de ar do tipo pipe-grid (21). Antes de ser alimentado aos distribuidores do tipo pipe-grid o ar é aquecido pela passagem por um forno (20). O modo de operação deste leito (14) é o de regime de fluidização turbulenta, assim, o
20 projeto da seção inferior (17) do combustor (1) contempla velocidade superficial dos gases na faixa entre 0,5 m/s e 1,50 m/s e, preferencialmente entre 0,7 m/s e 1,30 m/s.

A seção inferior (17) do leito fluidizado (14) do combustor (1) possui inventário de catalisador para manutenção do tempo de residência dos
25 gases em combustão entre 4 e 10 segundos e, preferencialmente entre 5 e 8 segundos.

Na seção superior do combustor (18) existe uma fase diluída onde a mistura de catalisador arrastado do leito fluidizado (14), pelo processo de elutriação, e o gás resultante do processo de combustão do óleo de
30 aquecimento alimentam um sistema de ciclones (15) para a recuperação

do catalisador e retorno do mesmo por dutos ou dip legs (16). Tais dutos conectam a porção inferior dos ciclones ao leito fluidizado (14), para o encaminhamento dos gases quentes ou gases de combustão (22) para um sistema de recuperação de energia.

5 A seção superior (18) acima do leito fluidizado (14) do combustor (1) tem diâmetro maior (23) do que o da seção inferior (17), de forma a reduzir a carga de sólidos arrastada para os ciclones (15), sendo a seção superior projetada para operar numa faixa de velocidade superficial entre 0,6 m/s e 1,10 m/s.

10 Para realizar a combustão do óleo de aquecimento no interior do leito catalítico fluidizado (14) com alta eficiência é necessário buscar a máxima cobertura da seção transversal do combustor (1).

 A máxima cobertura é atingida com o maior número possível de pontos de alimentação, considerando a aspensão do óleo de aquecimento
15 em uma neblina de gotas pequenas e com velocidade suficientemente elevada para propiciar uma razoável penetração do jato no interior do leito de partículas.

 Esta condição é necessária para obter um eficiente contato entre a neblina de gotas de óleo de aquecimento e o catalisador aquecido em leito
20 fluidizado turbulento e para promover à rápida vaporização das gotas e em seqüência as reações de combustão do hidrocarboneto gasoso com o ar disperso em bolhas. Em função da característica turbulenta da fluidização, a energia liberada na combustão é rapidamente dissipada no interior do leito catalítico fluidizado (14).

25 O óleo de aquecimento (OAQ) (24), a ser queimado no combustor (1), passa por um trocador de calor (25), com o objetivo de reduzir a viscosidade para uma faixa de 10 Cst a 15 Cst, suficientemente para obter atomização eficiente nos bicos atomizadores.

 O OAQ (24) após passar pelo trocador de calor (25) é distribuído
30 através de uma pluralidade de lanças (26), instaladas horizontalmente a

partir da periferia na seção inferior (17) do vaso do combustor (1), como ainda ilustrado na Figura 2.

De forma a evitar a ocorrência de elevada temperatura ou pontos quentes, uma característica das lanças (26) é possuir bicos dispersores de
5 alta eficiência que operam com um baixo consumo de fluido de aspersão (27).

A razão (fluido de aspersão) / (óleo de aquecimento) é calculada para uma faixa de 15% a 30% por peso do OAQ (24). O fluido de aspersão (27) utilizado é o vapor d'água, no entanto, pode ser substituído por outro
10 fluido, por exemplo, ar comprimido, sem prejuízo de boa aspersão.

Ainda no presente método, o catalisador gasto proveniente do retificador (9) é alimentado no leito fluidizado (14) do combustor (1) através de um distribuidor de catalisador (28), posicionado em elevação superior ao das lanças (26) de alimentação do óleo de aquecimento. O distribuidor
15 de catalisador (28) é projetado de forma a propiciar a rápida dispersão do catalisador gasto, que está mais frio, no leito quente, evitando a formação de regiões densas e frias no interior do leito fluidizado (14) do combustor (1).

A Figura 3 e a Figura 4 apresentam, respectivamente, um corte do
20 combustor e a vista em planta com as diversas lanças (26) do combustor.

Conforme ilustrado na vista superior, apresentada na Figura 3, o OAQ (24) é alimentado através de uma pluralidade de lanças (26), de comprimentos pequenos (29), médios (30) e grandes (31). O processo possui um fluido de purga (32) da seção anular formada entre a lança (26)
25 e um tubo guia (33) (proteção física da lança).

A Figura 4 ilustra uma vista tridimensional de meia seção longitudinal da seção inferior do leito fluidizado do combustor (1), compreendendo lanças (26) de comprimentos pequenos (29), médios (30) e grandes (31) colocadas na parte radial do fundo do combustor (1) em dois níveis (34)
30 diferentes de altura do fundo do combustor (1) de alta eficiência.

No topo do riser (2), conforme Figura 1, uma série de ciclones (6) separa o catalisador dos produtos de reação ou produtos gasosos (7). Para minimizar as perdas de catalisador para o vaso separador (10) neste processo, que resulta em elevada relação de sólidos particulados/gás no final do riser (2), assim como, para minimizar as reações secundárias de craqueamento pós-riser no interior do vaso separador (10), adota-se o sistema de ciclones conforme descrito nos pedidos de patente US 20090142241 A1 e EP 2065458 A1.

Ao mesmo tempo em que promove as reações de craqueamento ao longo do reator, o catalisador vai sendo desativando pelo coque sobre ele depositado como subproduto das reações.

Depois do reator, o catalisador desativado é primeiramente retificado pela injeção de vapor que separa os hidrocarbonetos voláteis – produtos que foram arrastados pelo catalisador.

A seguir, no combustor (1), o coque depositado na superfície do catalisador é queimado, sendo então obtido o catalisador regenerado, que retorna a uma temperatura elevada para a base do reator, iniciando um novo ciclo de reações do processo por contato com uma carga nova introduzida no reator (2).

A associação de condições deste processo resulta em elevada demanda de energia pela seção de reação e por outro lado, na produção de uma parcela muito pequena de coque sobre o catalisador. Como consequência, o coque queimado no combustor (1) para recuperar a atividade do catalisador, fornece apenas entre 5% a 20% do total de energia requerida pelo conversor, tornando-se assim necessário a adição contínua da energia para obter o equilíbrio do balanço térmico.

Assim, mais especificamente, a presente invenção trata de um combustor capaz de realizar a combustão completa de um óleo de aquecimento no interior do leito fluidizado turbulento (14) de um combustor (1), de forma a minimizar a formação de pontos quentes ou hot-spots no

interior do leito (14) e as reações de pós-queima (afterburning) na fase diluída da seção superior (18) do combustor (1).

5 Inicialmente, devido ao emprego de sistemas de ciclones de elevada eficiência e desenvolvidos especialmente para elevada carga de particulados, na extremidade do riser, conforme descrito no pedido de patente PI 0704443-7, não existe a necessidade de recuperação dos finos de catalisador dos produtos gasosos (7) que alimentam uma seção de fracionamento e recuperação de produtos. Assim, a alimentação de óleo de aquecimento por meio de lanças localizadas no combustor (1) da
10 presente invenção apresenta a vantagem de elevada simplicidade ao ser realizada de forma completamente independente a operação do sistema de gases na saída do reator (1) e a operação do fundo do vaso separador (10) ou retificador (9).

Por outro lado, o arranjo do conversor do FCC Petroquímico
15 apresentado na Figura 1, é do tipo “side-by-side”, isto é, o vaso separador (10), com retificador (9), e o combustor (1) ficam lado a lado em elevações diferenciadas. Neste arranjo os “standpipes” de catalisador gasto (12a) e catalisador regenerado (12b) são inclinados e externos ao vaso do combustor (1).

20 As válvulas de controle de circulação, que são do tipo corrediça, ou “slide valves” (13a e 13b), também são externas ao combustor (1). Este tipo de arranjo oferece a vantagem de eliminar diversos equipamentos do interior do combustor (1) e interferências nos processos de dispersão do óleo e do catalisador.

25 O padrão de escoamento para o leito fluidizado turbulento (14) em vasos de grandes dimensões, como no caso do FCC Petroquímico, apresenta as seguintes características: o conjunto de bolhas gerado pelo distribuidor de ar tipo “pipegrid” (21) ascende em alta velocidade resultando no arraste da emulsão densa em seu entorno formando uma
30 região mais central do vaso (“core”) de alta velocidade de ascensão e baixa

densidade.

As bolhas se separam da emulsão no topo do leito (14) e a emulsão agora mais densa recircula do topo do leito (14) para a seção inferior (17), predominantemente através da região próxima à parede, criando uma
5 região anular descendente (“annulus”), cujo retorno ocorre nas imediações do dispositivo de distribuição de gás (“pipegrid”) (21) no fundo do leito. Este padrão de escoamento forma, portanto, duas regiões distintas no interior do leito fluidizado (14), uma fluidizada turbulenta ascendente ou “core” e uma região anular densa descendente ou “annulus”. Estudos
10 experimentais, e de simulação, constataram que o raio que delimita as regiões ascendentes do “core” e descendente no “annulus”, têm em torno de 0,65 vezes o raio do vaso e aparentemente é independente do diâmetro do mesmo, para os maiores diâmetros estudados.

Outra característica importante do processo de fluidização é a
15 capacidade de dispersão, isto é, a habilidade em espalhar a fase dispersa em unidade de área por unidade de tempo a partir de um ponto arbitrário do leito de catalisador.

A dispersão é proporcional ao grau de fluidização, isto é, maior em regiões com maior velocidade superficial dos gases e inversamente,
20 menor em regiões densas com baixa velocidade superficial.

Estudos em leitos fluidizados de grandes dimensões, entre 6 m a 10 m, indicam que para a velocidade em torno de 1,0 m/s, a dispersão axial (em relação à linha de centro da coluna do leito) é cerca de 10 vezes superior à dispersão lateral ou radial. Assim uma mistura qualquer
25 alimentada na elevação do distribuidor de ar ou “pipe grid” (21) é facilmente transportada na direção axial para o topo do leito (14) e mais lentamente na direção radial ao longo da seção transversal do vaso do combustor (1).

O OAQ (24) a ser queimado no interior do combustor (1) é
30 alimentado através de uma pluralidade de lanças (26) instaladas em

posição horizontal a partir da periferia do vaso, localizadas na seção inferior (17) do leito de catalisador fluidizado (14). Mais especificamente, as lanças (26) estão instaladas em elevação acima do ponto de equilíbrio entre a coalescência e quebra de bolhas no leito fluidizado (14), que no caso de vasos de unidades em escala industrial ocorre em elevação superior a 0,50 m do “pipe grid” (21), conforme Figura 1 e Figura 4.

Na extremidade de cada lança (26) está instalado um bico aspersor de alta eficiência e as lanças (26) possuem comprimentos diferenciados de forma a propiciar completa distribuição do OAQ (24) aspergido ao longo da seção transversal do combustor (1), conforme ilustrado na Figura 3 e Figura 4.

As lanças (26) são constituídas de um conjunto de pelo menos dois tubos concêntricos, o interno para a alimentação segregada do OAQ (24) e o externo para o fluido de aspersão (27) do OAQ (24), os quais por sua vez alimentam seções distintas do bico aspersor das lanças (26).

A Tabela 1 apresenta um exemplo de arranjos de lanças considerando três diferentes regiões ou distribuição para uma pluralidade de lanças/bicos distribuidores de OAQ (24) em um combustor (1).

O total de lanças/bicos de aspersão depende da área da seção transversal do combustor (1), das características do OAQ (24) alimentado e do tipo de aspersor de óleo.

<u>TABELA 1</u>				
Raio de Cobertura m	Área de Cobertura m²	Comprimento da lança m	Nível inferior	Nível superior
2,0	12,2	4,0		6
3,5	27,5	2,5		24
5,4	51,9	0,6	30	
Total de lanças no nível			30	30
Total de lanças			60	

No exemplo da Tabela 1 foi considerado o emprego de um conjunto lança/bico para cada $1,88 \text{ m}^2$ de seção transversal do combustor (1). Em razão do elevado número de lanças (26) foi adotada a distribuição em dois níveis com metade das lanças/bicos aspersores por nível. Dependendo das condições de processo este parâmetro pode variar entre uma lança/bico para cada $1,0 \text{ m}^2$, no mínimo, até uma lança/bico para cada $5,0 \text{ m}^2$ de seção transversal do combustor (1), no máximo.

Outra característica do presente método é que a alimentação do OAQ (24) para o interior do leito fluidizado turbulento (14) ocorre na forma de uma neblina de pequenas gotículas em uma elevação acima do distribuidor de ar tipo “pipegrid” (21), onde o processo de fluidização turbulenta está plenamente estabelecido. Mais especificamente o bico aspersor possui capacidade para aspergir o OAQ (24) em gotículas com tamanho entre 30 a 100 micrometros e o jato do fluido de aspersão e de gotículas que saem do bico aspersor estão com velocidade na faixa de 30 m/s a 60 m/s considerando a seção transversal da bolha na extremidade final do bico em contato com o leito fluidizado.

Reconhecidamente a vaporização rápida de líquidos em leito fluidizado é associada a gotas de pequeno tamanho, principalmente quando associado a velocidades de injeção do jato ou bolha na faixa de 30 m/s a 60 m/s. Nestas condições o processo de troca térmica é ampliado reduzindo o tempo necessário para a vaporização das gotas e do início das reações de combustão.

A combustão do OAQ (24) ocorre em etapas de reações em série, onde a primeira etapa é a mais rápida, e os hidrocarbonetos são convertidos através de uma série de reações elementares de oxidação em água e monóxido de carbono (CO) e posteriormente, com a redução da concentração de hidrocarbonetos, ocorre à etapa mais lenta que compreende a oxidação do CO para CO_2 .

Para o presente método, o combustor (1) opera na faixa de tempera-

tura entre 700°C a 750°C e possui inventário de catalisador suficiente para realizar a oxidação total dos hidrocarbonetos e do coque para água e CO₂ no interior do leito fluidizado (14), garantindo que o tempo de residência dos gases no interior do leito (14) seja superior a 5 segundos.

5 Em função das condições favoráveis da alimentação e distribuição do óleo ao longo da seção transversal do combustor; proporcionadas por uma fina neblina de gotículas em alta velocidade na região aerada do combustor (1) (core ascendente) associada à elevada turbulência do leito fluidizado, obtém-se uma elevada dispersão e troca térmica das gotas com
10 o meio, favorecendo a rápida vaporização e queima rápida dos vapores de hidrocarbonetos do OAQ (24) ao contatar com as bolhas de ar ascendentes.

No presente método, o OAQ (24) a ser queimado no combustor (1) é aquecido ao passar por um trocador de calor (25) antes de ser alimentado
15 por uma pluralidade de lanças (26), mantendo a viscosidade do OAQ (24) no interior das lanças entre 5 a 30 Centistokes, preferencialmente entre 10 a 15 Centistokes, de modo a garantir elevada eficiência de aspersão.

As lanças (26) são inseridas no interior de um tubo guia (33) de proteção física e com alimentação de um fluido de purga (32) ou limpeza
20 na região anular formada entre o corpo externo da lança (26) e o tubo guia (33).

O bico aspersor das lanças (26) pode operar com diversos fluidos, tal como vapor d'água ou ar. Como exemplo, quando o fluido empregado é vapor d água, a proporção de vapor/OAQ está entre 0,02 e 0,50
25 massa/massa e, preferencialmente entre 0,05 e 0,30 massa/massa.

O ar para combustão do OAQ (24) e do coque é aquecido através de um forno de combustão direta com gás combustível, que aquece o ar da temperatura de saída do soprador para a temperatura entre 400°C e 700°C e, preferencialmente entre 550°C e 650°C, antes de alimentar o
30 distribuidor de ar do combustor (1).

Ainda, no presente processo o ar alimentado para o combustor para as reações de combustão é superior ao necessário para atender a estequiometria da combustão total, isto é, todo material de hidrocarboneto alimentado ao combustor (coque e óleo) são transformados em água e dióxido de carbono no interior do leito fluidizado. Uma forma de especificar a alimentação de ar acima da estequiométrica para o processo de combustão é através do parâmetro “excesso de oxigênio nos gases de combustão”. Os gases de combustão (22) que saem da seção superior (18) do combustor (1) para o sistema de recuperação de energia, portanto, apresentam teor de excesso de oxigênio entre 1% a 5,0% molar quantificado em base seca.

No presente processo são previstos meios para remover as lanças com a unidade em operação, permitindo a substituição do bico aspersor na eventualidade de falha ou queda de “performance” do mesmo.

O OAQ (24) a ser utilizado no combustor (1) possui baixo teor de contaminantes como nitrogênio e enxofre (menor que 10 ppm) assim como de metais (sódio, níquel, vanádio, ferro), menor que 1 ppm, minimizando a emissão de gases poluentes e a contaminação do inventário de catalisador com metais que conduzem à perda de atividade e seletividade catalítica.

A forma e os meios de promoverem a alimentação do OAQ (24) no interior do leito fluidizado (14), junto às características do padrão de escoamento e de dispersão turbulenta do leito fluidizado de mistura; formam um conjunto de condições de processo que resultam na distribuição homogênea, por intermédio de lanças (26) de comprimentos variáveis adequadamente dispostas na seção transversal inferior do combustor, de uma neblina de pequenas gotas de óleo; propiciada por aspersores de elevada eficiência, com velocidade de jato suficientemente elevada para um eficiente contato entre as gotículas de óleo e o catalisador quente, possibilitando a vaporização rápida das gotas, e em

- consequência, rápido início das reações de combustão dos hidrocarbonetos em fase gasosa com o ar disperso em bolhas; em inventário de catalisador suficiente para garantir o atendimento das etapas das reações de oxidação, permitindo desta forma a completa combustão
- 5 do OAQ (24) no interior do leito fluidizado (14), minimizando o risco de formação de pontos quentes e de pós-queima em fase diluída.

REIVINDICAÇÕES

- 5 **1- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, caracterizado por compreender um vaso com duas seções distintas, sendo uma seção inferior (17) e outra uma seção superior (18), onde a seção inferior (17) contém um leito de catalisador fluidizado turbulento (14) onde ocorre a combustão do óleo e do coque do catalisador gasto, com alimentação de ar de fluidização e queima (19) realizada na seção inferior (17) do leito fluidizado (14) através de um ou mais distribuidores tipo pipe-grid (21), com alimentação do óleo de aquecimento (OAQ) (24) realizada através de uma pluralidade de bicos aspersores instalados na extremidade das lanças (26) localizadas no interior da seção inferior (17) do leito fluidizado (14) acima dos distribuidores tipo pipe-grid (21), com a alimentação de catalisador gasto através de tubulação inclinada ou standpipe de catalisador gasto (12a), com a remoção do catalisador aquecido e regenerado do leito fluidizado (14) através de um standpipe de catalisador regenerado (12b) localizado na seção inferior (17) do leito fluidizado (13).
- 10 **2- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a seção inferior (17) do leito fluidizado (14) do combustor (1) ter diâmetro menor (23) do que o da seção superior (18), projetado para uma faixa de velocidade superficial, entre 0,5 m/s e 1,50 m/s e, preferencialmente entre 0,7 m/s e 1,30 m/s.
- 15 **3- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o OAQ (24) quente ser distribuído através de uma pluralidade de lanças (26) instaladas horizontalmente a partir da periferia na seção inferior (17) do vaso do combustor (1), na proporção mínima de uma lança/bico para cada 1,0 m² até a proporção máxima de uma lança/bico para cada 5,0 m² de seção transversal do vaso do combustor (1).
- 20 **4- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1,
- 25 **5- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1,
- 30 **6- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado por ser instalado um bico aspersor de alta eficiência na extremidade de cada lança (26) e as lanças (26) possuírem comprimentos diferenciados de forma a propiciar completa distribuição do OAQ (24) aspergido ao longo da seção transversal do combustor (1).

5- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o combustor (1) compreender lanças (26) de comprimentos pequenos (29), médios (30) e grandes (31) colocadas na parte radial do fundo do combustor (1) em dois níveis (34) em diferentes elevações do fundo do combustor (1) de alta eficiência.

6- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por as lanças (26) serem constituídas de um conjunto de pelo menos dois tubos concêntricos para a alimentação segregada do OAQ (24) e do fluido de aspersão (27) os quais por sua vez alimentam seções distintas do bico aspersor da lança (26).

7- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por as lanças (26) serem inseridas no interior de uma um tubo guia (33) de proteção física e com alimentação de um fluido de purga (32) ou limpeza na região anular formada entre o corpo externo da lança (26) e o tubo guia (33).

8- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a seção inferior (17) do leito fluidizado (14) do combustor (1) possuir inventário de catalisador para manutenção do tempo de residência dos gases em combustão entre 4 e 10 segundos e, preferencialmente entre 5 e 8 segundos.

9- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por realizar a combustão total de uma maior porção de carbono do OAQ (24) e do coque do catalisador gasto a dióxido de carbono no interior do leito fluidizado (14), na seção inferior (17) do combustor (1), a temperatura entre 700°C a 750°C.

- 10- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por os bicos aspersores das lanças (26) do combustor (1) empregarem um fluido de aspersão (27) em uma proporção na faixa de 15% a 30% por peso do OAQ (24).
- 5 **11- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por os bicos aspersores das lanças (26) do combustor (1) produzirem um jato de fluido de aspersão com velocidade na faixa de 30 m/s a 60 m/s.
- 12- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 10 1, caracterizado por os bicos aspersores das lanças (26) do combustor (1) empregarem vapor d'água como fluido de aspersão (27).
- 13- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por os bicos aspersores das lanças (26) do combustor (1) empregarem fluido de aspersão (27) do OAQ (24), em 15 proporção vapor/OAQ, entre 0,02 e 0,50 massa/massa e, preferencialmente entre 0,05 e 0,30 massa/massa.
- 14- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o OAQ (24) a ser utilizado no combustor (1) 20 possuir teor nitrogênio e enxofre menor que 10 ppm e teor de metais (sódio, níquel, vanádio, ferro), menor que 1 ppm.
- 15- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por os bicos aspersores das lanças (26) do combustor (1) possuírem capacidade para aspergir OAQ (24) em gotículas com tamanho entre 30 a 100 micrômetros.
- 25 **16- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por os gases de combustão (22) que saem da seção superior (18) do combustor (1) para o sistema de recuperação de energia apresentarem teor de excesso de oxigênio entre 1% a 5,0% molar quantificado em base seca.
- 30 **17- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação

1, caracterizado por aquecer o ar (19), antes de alimentado ao distribuidor tipo pipe-grid (21) do combustor (1), através de um forno de ar (20) a temperatura entre 400°C e 700°C e, preferencialmente entre 550°C e 650°C.

5 **18- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por, a seção superior (18) do combustor (1) compreender um sistema de ciclones (15) para a recuperação do catalisador e retorno do mesmo, ao leito fluidizado, (14) através de pernas dos ciclones ou dip legs (16) e dutos de saída para a
10 transferência dos gases de combustão (22) para um sistema de recuperação de energia.

15 **19- COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por aquecer o OAQ (24) através de uma trocador de calor (25), antes de ser alimentado através da pluralidade de lanças (26), mantendo a viscosidade do óleo de aquecimento (24) no interior das lanças entre 5 a 30 Centistokes, preferencialmente entre 10 a 15 Centistokes.

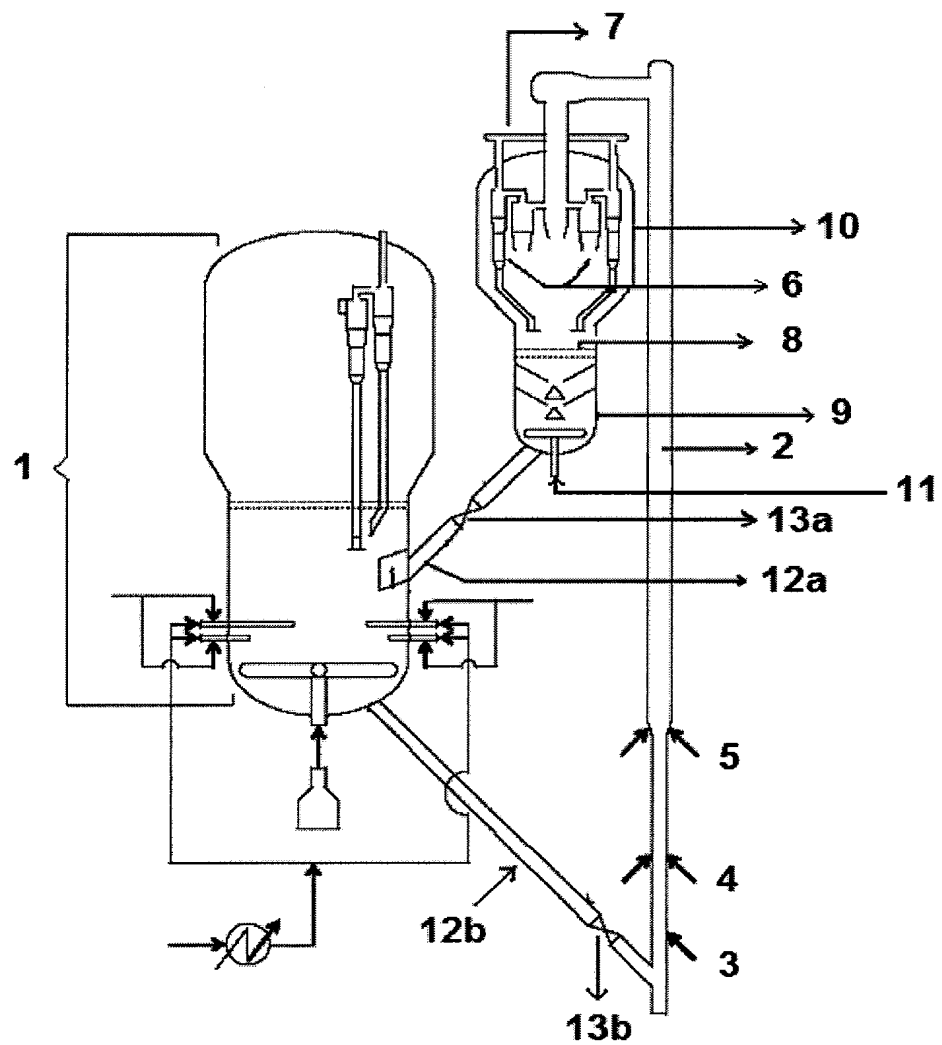
20 **20- PROCESSO DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO**, caracterizado por o arranjo do conjunto total do processo desenvolvido ser do tipo “side-by-side”, em que o vaso separador (10) acoplado com um retificador (9) abaixo, e o combustor (1) estarem lado a lado em elevações diferenciadas, e, neste arranjo, os standpipes de catalisador gasto (12a) e regenerado (12b) são inclinados e externos ao vaso do combustor (1).

25 **21- PROCESSO DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO**, de acordo com a reivindicação 20, caracterizado por em que a regeneração do catalisador é realizada no interior de um combustor (1) de alta eficiência.

30 **22- PROCESSO DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO**, de acordo com a reivindicação 20, caracterizado por o catalisador gasto proveniente do

retificador (9) ser alimentado no leito catalítico fluidizado (14) do combustor (1) através de um distribuidor de catalisador (28), posicionado em uma elevação superior ao das lanças (26) de alimentação do óleo de aquecimento (OAQ) (24).

- 5 **23- PROCESSO DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO**, de acordo com a reivindicação 20, caracterizado por as reações ocorrerem sobre catalisador contendo zeólita tipo Pentasil, em maior proporção, em mistura com zeólita tipo Y trocada ou não com terras raras, na forma de partículas sólidas.

**Figura 1**

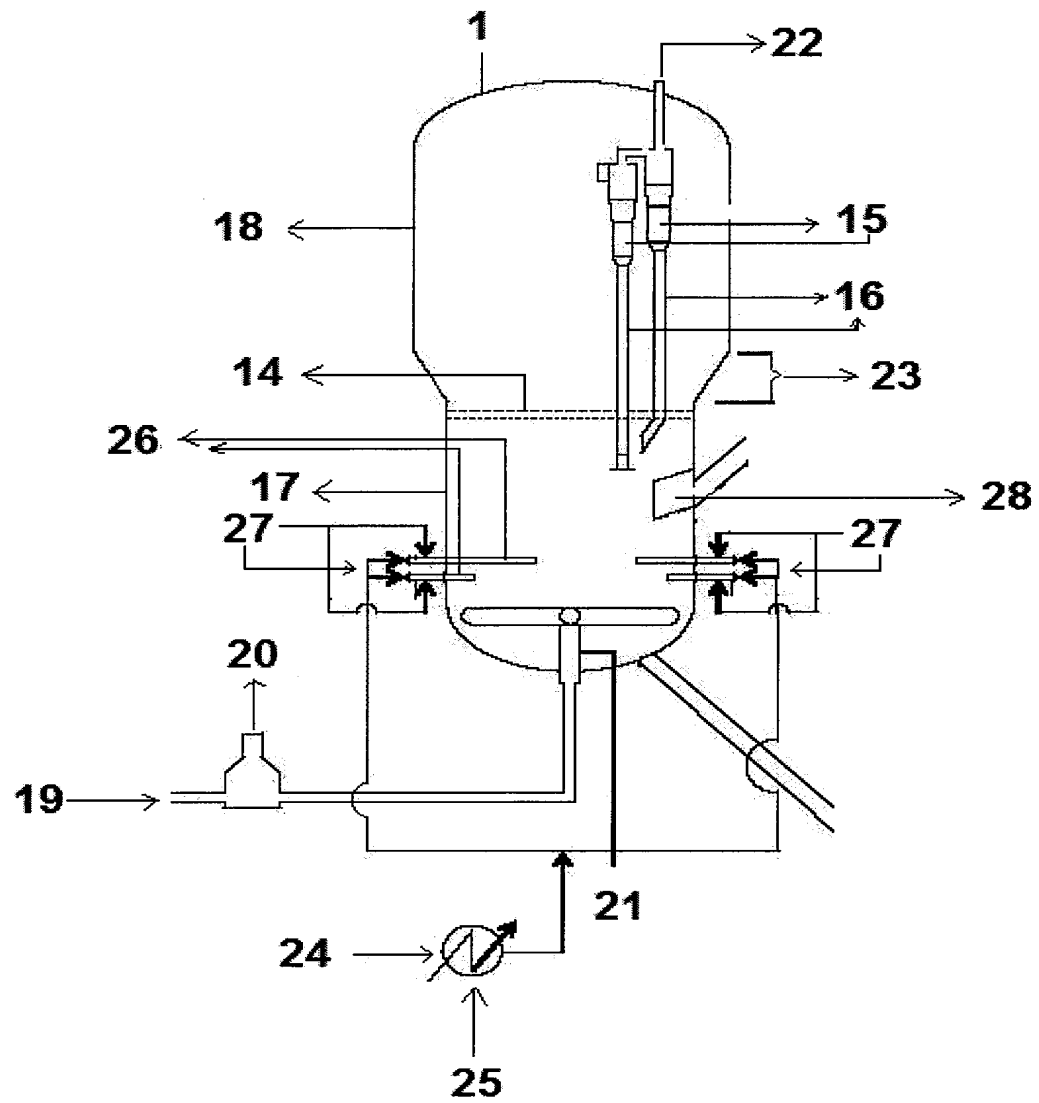
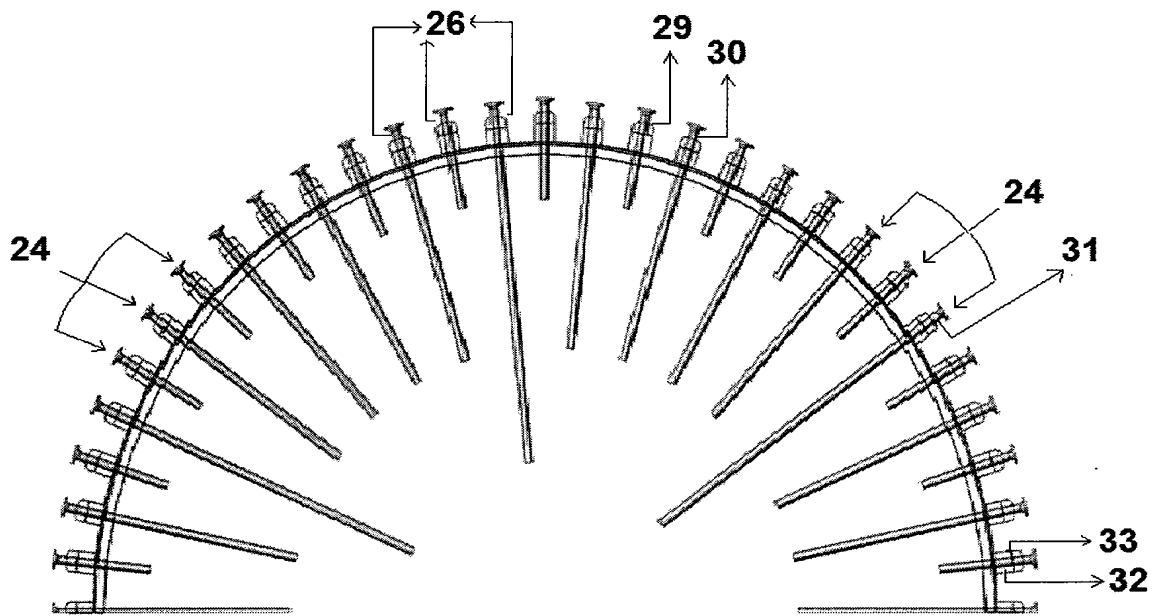
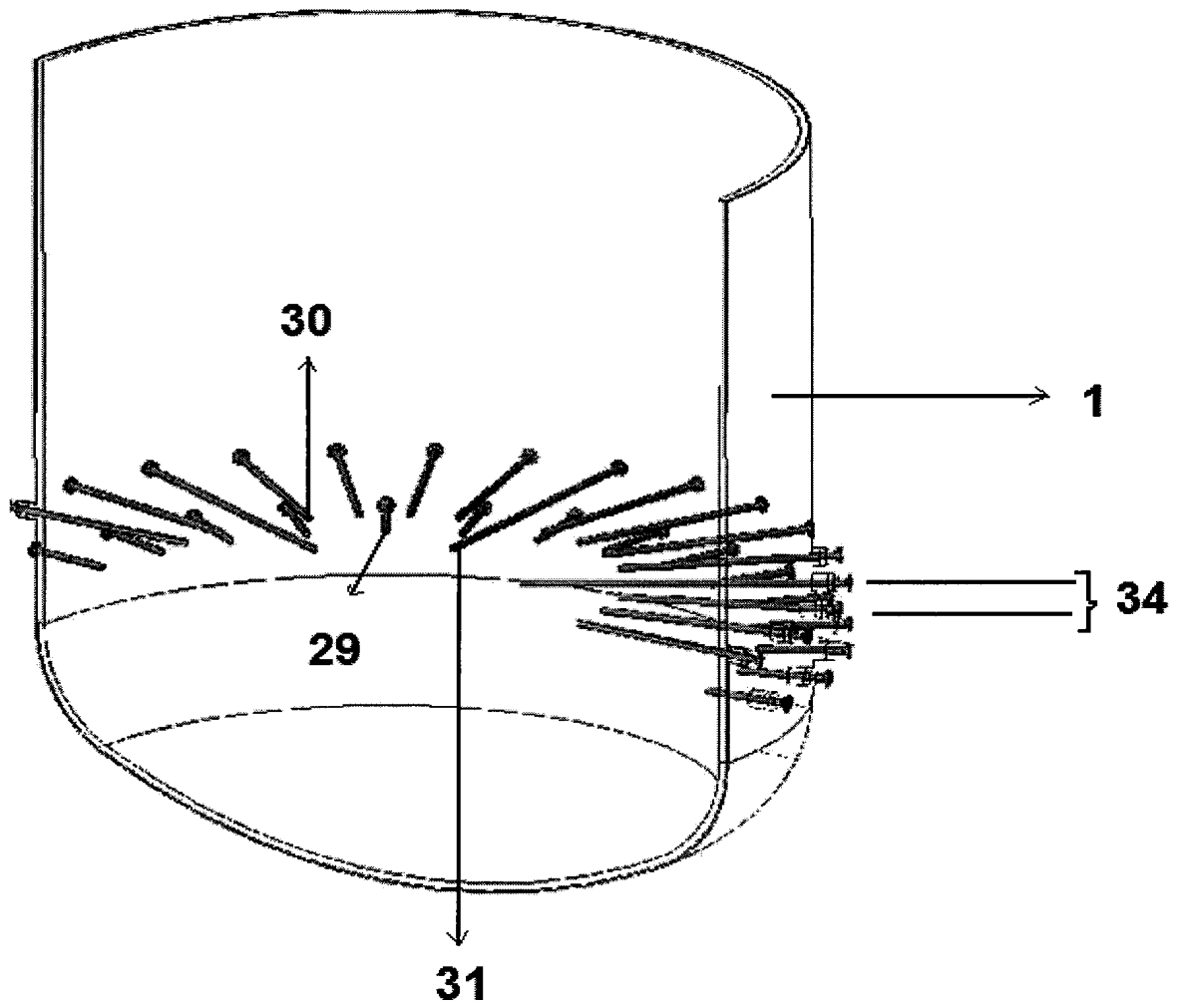


Figura 2

**Figura 3**

**Figura 4**

RESUMO**COMBUSTOR DE ALTA EFICIÊNCIA E PROCESSO DE
CRAQUEAMENTO CATALÍTICO FLUIDO ORIENTADO PARA A
PRODUÇÃO DE OLEFINAS LEVES**

5 É descrito um combustor para atender a demanda energética de
processos para produção de olefinas leves (eteno e propeno) em unidades
de craqueamento catalítico em leito fluidizado. Tal combustor é
responsável pela queima de óleo de aquecimento e manutenção da
queima do coque depositado sobre o catalisador visando o aquecimento
10 do mesmo para atender a demanda energética da reação, sendo a
combustão realizada de maneira suave e uniforme, evitando a formação
de pontos de elevada temperatura no interior do leito catalítico (hot spots)
e na fase diluída após a combustão (afterburning), o que acaba por
minimizar a desativação do catalisador e o risco de danos aos
15 equipamentos internos do combustor.