



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

(11) PI 0409502-2 B1

(22) Data do Depósito: 07/04/2004

(45) Data de Concessão: 22/12/2015
(RPI 2346)



(54) Título: PROCESSO DE COMBUSTÃO EM ETAPAS DE UM COMBUSTÍVEL LÍQUIDO E DE UM OXIDANTE EM UM FORNO

(51) Int.Cl.: F23C 6/04; C03B 5/235

(30) Prioridade Unionista: 18/04/2003 FR 0304867

(73) Titular(es): L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME Á DIRECTOIRE ET CONSEIL DE SURVEILLANCE POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS GEORGES CLAUDE

(72) Inventor(es): BERTRAND LEROUX, REMI PIERRE TSIAVA, PASCAL DUPERRAY, BENOIT GRAND, PATRICK JEAN-MARIE RECOURT

**PROCESSO DE COMBUSTÃO EM ETAPAS DE UM COMBUSTÍVEL LÍQUIDO E
DE UM OXIDANTE EM UM FORNO**

[001] A presente invenção se refere a um processo de combustão em etapas de um combustível líquido e de um oxidante em um forno.

[002] Os desempenhos de um processo de combustão em um forno industrial devem obedecer a dois critérios:

- limitar os dejetos de poluentes atmosféricos (NO_x, poeiras,...) que devem ser em quantidade inferior ao limite fixado pela legislação;

- controlar a temperatura das paredes do forno e da carga a aquecer, de maneira a responder, ao mesmo tempo, aos problemas relativos à qualidade do produto sujeito à combustão e ao consumo energético.

[003] A evolução da legislação sobre as emissões de poluentes atmosféricos, notadamente os óxidos de nitrogênio, levou a uma evolução importante de tecnologias de combustão. Um primeiro processo de combustão que limita a emissão dos NO_x é a combustão oscilante (EP-A1-0 524 880) que consiste em fazer oscilar a vazão de combustível e/ou comburente. A estequiometria desviando-se de 1, a temperatura local diminui, o que leva a uma redução dos NO_x. Uma outra solução é a combustão em etapas que prevê a diluição dos reagentes nas zonas principais da reação: isto permite se afastar das proporções estequiométricas e evitar os picos de temperatura propícios à formação dos NO_x (WO02/081967).

[004] Essas aplicações do estado da técnica são soluções essencialmente adaptadas à combustão de um combustível gasoso. Quando de uma combustão bifásica com o

auxílio de um combustível líquido e de um oxidante gasoso, o processo de combustão compreende as etapas suplementares de atomização do líquido, depois de vaporização das gotas de líquido para que o combustível tornado gasoso possa reagir com o oxidante gasoso. Diversos parâmetros suplementares vão, portanto, influenciar a combustão: o tipo de atomizador utilizado, por exemplo, mas também, para um injetor de atomização assistida, a velocidade de escoamento do gás de atomização que vai agir sobre o tamanho das gotículas e a qualidade de atomização. Além dos parâmetros diretamente ligados à etapa de atomização, o processo de combustão vai ser influenciado pela mistura dos reagentes, pois este influi sobre o modo de combustão, assim como sobre a formação de emissões poluentes. Assim, a relação da extensão de vaporização é a distância necessária à evaporação das gotículas de combustível líquido, ela está relacionada ao tamanho das gotículas, à velocidade das mesmas e à natureza do líquido. A extensão da mistura é a distância necessária para que os reagentes, que são injetados separadamente, se achem misturados em uma relação estequiométrica. Caso a extensão de vaporização seja muito grande em relação à extensão da mistura, a combustão será incompleta; fala-se de regime de combustão incompleta ou "brush" em inglês. Ao contrário, se a extensão de vaporização for muito pequena, em relação à extensão da mistura, a mistura muito rápida levará a níveis elevados de óxido de nitrogênio; fala-se de regime de vaporização. Portanto, é preferível se situar na transição entre esses dois regimes (relação da extensão de vaporização sobre a extensão de mistura próxima de 1).

[005] EP-B1-0 687 853 propõe um processo de combustão em etapas de um combustível líquido. Esse processo consiste em injetar o combustível líquido sob a forma de uma pulverização divergente que tem um ângulo na periferia externo inferior a 15° e injetar o oxidante sob a forma de dois escoamentos: um escoamento primário e um escoamento secundário, o escoamento primário devendo apresentar uma velocidade baixa, inferior a 61 m/s. Esse processo apresenta vários inconvenientes. Inicialmente, a utilização de um ângulo tão pequeno impõe a utilização de uma velocidade de gás de atomização elevada, o que cria perdas de carga consideráveis e pode prejudicar a estabilidade da chama. Em seguida, devido ao pequeno valor do ângulo de pulverização, o modo de combustão é de tipo vaporização e não permite otimizar a diminuição dos NOx. Enfim, esse pequeno valor do ângulo de pulverização não permite fazer variar de forma contínua os parâmetros geométricos da chama. Ora, pode ser útil, segundo a carga, modificar a geometria da chama, de maneira a evitar notadamente a formação local de um ponto quente.

[006] A finalidade da presente invenção é, portanto, propor um processo de combustão em etapas, utilizando um combustível líquido que permite limitar a formação dos NOx, conservando uma chama estável.

[007] Uma outra finalidade é de propor um processo de combustão em etapas utilizando um combustível líquido que permite limitar a formação dos NOx, e ter uma grande flexibilidade do queimador.

[008] Com essa finalidade, a invenção se refere a um processo de combustão de um combustível líquido e de um

oxidante no qual se injeta pelo menos um jato de combustível líquido sob a forma atomizada e pelo menos um jato de oxidante, o jato de oxidante comportando um jato de oxidante primário e um jato de oxidante secundário, o jato de oxidante sendo injetado nas proximidades do jato de combustível líquido, de maneira a gerar uma primeira combustão incompleta, os gases provenientes desta primeira combustão comportando ainda pelo menos uma parte do combustível, enquanto que o jato de oxidante secundário é injetado a uma distância l_2 do jato de combustível líquido que é superior à distância entre o jato de combustível líquido e o jato de oxidante primário o mais próximo do jato de combustível líquido, de maneira a entrar em combustão com a parte do combustível presente nos gases provenientes da primeira combustão, na qual o jato de oxidante primário é dividido em pelo menos dois jatos primários:

- pelo menos um primeiro jato de oxidante primário de envoltório que é injetado de maneira coaxial em torno do jato do combustível líquido sob a forma atomizada; e

- pelo menos um segundo jato de oxidante primário injetado a uma distância l_1 do jato do combustível líquido atomizado.

[009] Outras características e vantagens da invenção aparecerão com a leitura da descrição que será feita a seguir. Formas e modos de realização da invenção são dados a título de exemplos não limitativos, ilustrados pelas figuras 1 e 2 que representam vistas esquemáticas de um dispositivo que permite a aplicação do processo, de acordo com a invenção.

[0010] A invenção se refere, portanto, a um processo de combustão de um combustível líquido e de um oxidante no qual se injeta pelo menos um jato do combustível líquido sob a forma atomizada e pelo menos um jato de oxidante, o jato de oxidante comportando um jato de oxidante primário e um jato de oxidante secundário, o jato de oxidante primário sendo injetado nas proximidades do jato de combustível líquido, de maneira a gerar uma primeira combustão incompleta, os gases provenientes dessa primeira combustão comportando ainda pelo menos uma parte do combustível, enquanto que o jato de oxidante secundário é injetado a uma distância l_2 do jato de combustível líquido que é superior à distância entre o jato de combustível líquido e o jato de oxidante primário o mais próximo do jato de combustível líquido, de maneira a entrar em combustão com a parte do combustível presente nos gases provenientes da primeira combustão, no qual o jato de oxidante primário é dividido em pelo menos dois jatos primários:

- pelo menos um primeiro jato de oxidante primário de envoltório que é injetado de maneira coaxial em torno do jato de combustível líquido sob a forma atomizada; e

- pelo menos um segundo jato de oxidante primário injetado a uma distância l_1 do jato do combustível líquido.

[0011] Uma das características essenciais do processo, de acordo com a invenção, é que ele se refere a um processo de combustão de um combustível líquido, que é injetado da lança do queimador sob a forma atomizada. Esse jato do combustível líquido sob a forma atomizada pode ser obtido por qualquer método de atomização, tal como a ejeção sob

pressão do combustível líquido ou a mistura do combustível com um gás de atomização antes ou quando de sua ejeção. Assim, segundo um modo preferido, o jato do combustível líquido sob a forma atomizada pode ser obtido por injeção coaxial de um jato de gás de atomização em torno de um jato do combustível líquido. O gás de atomização pode ser escolhido dentre um gás oxidante, tal como o ar ou o oxigênio ou um gás inerte, tal como o nitrogênio ou o vapor d'água. De acordo com esse modo preferido, a vazão mássica do jato de gás de atomização está vantajosamente compreendida entre 5 e 40 % do valor da vazão mássica do jato de combustível líquido, ainda mais preferencialmente entre 15 e 30 %.

[0012] De acordo com uma outra característica essencial da invenção, o jato de oxidante primário é dividido em pelo menos dois jatos dos quais pelo menos um é um jato de oxidante primário de envoltório. Esse jato de oxidante primário de envoltório é injetado de maneira coaxial em torno do jato de combustível líquido sob a forma atomizada. O segundo jato de oxidante primário é injetado a uma distância l_1 do jato de combustível líquido atomizado. De preferência, essa distância l_1 entre o segundo jato de oxidante primário e o jato de combustível líquido está compreendida entre $1,5 D_G$ e $l_2/2$, onde D_G representa o diâmetro do círculo de mesma superfície que a superfície do injetor através do qual o primeiro jato de oxidante primário de envoltório é injetado. A título de exemplo, o valor de D_G pode estar compreendido entre 30 e 60 mm.

[0013] A distância l_2 entre o jato de oxidante secundário e o jato de combustível pode estar compreendida

entre $8 D_2$ e $40 D_2$, onde D_2 representa o diâmetro do círculo de mesma superfície que a superfície do injetor através do qual o oxidante secundário é injetado. Esse diâmetro D_2 pode estar compreendido entre 10 e 60 mm.

[0014] O diâmetro do círculo de mesma superfície que a superfície do injetor através do qual o segundo jato de oxidante primário é injetado, D_1 pode estar compreendido entre 15 e 70 mm. De preferência, o diâmetro D_1 é superior ao diâmetro D_2 .

[0015] De acordo com uma variante da invenção, o jato de oxidante secundário e o jato de oxidante primário situado a uma distância l_1 do jato de combustível líquido são constituídos de uma pluralidade de jatos. Assim, o jato de oxidante primário situado a uma distância l_1 do jato de combustível líquido pode ser constituído de dois jatos idênticos situados à mesma distância l_1 , do jato de combustível líquido, os três jatos ficando sensivelmente situados no mesmo plano, e o jato de oxidante secundário pode ser constituído de dois jatos idênticos situados à mesma distância l_2 do jato de combustível líquido, os três jatos ficando sensivelmente situados no mesmo plano; de preferência, os cinco jatos ficam sensivelmente situados no mesmo plano.

[0016] A quantidade de oxidante secundário representa geralmente no máximo 90 % da quantidade total de oxidante injetado, de preferência 10 a 90 %. Mais preferencialmente, a quantidade de oxidante secundário está compreendida entre 50 e 90 %, até mesmo entre 60 e 80 %, da quantidade total de oxidante injetada, o oxidante primário (que corresponde ao mesmo tempo ao oxidante primário de envoltório e ao

segundo jato de oxidante primário) representando uma quantidade compreendida entre 10 e 50 %, até mesmo entre 20 e 40 %, da quantidade total de oxidante.

[0017] De preferência, a vazão mássica do primeiro jato de oxidante primário de envoltório está compreendida entre 10 e 20 % do valor da vazão mássica do jato de oxidante total (oxidante primário + oxidante secundário).

a. O oxidante primário e o oxidante secundário podem apresentar a mesma composição; isto apresenta notadamente a vantagem de ter apenas uma única fonte de oxidante a dividir entre os diferentes pontos de injeção de oxidante primário ou secundário. Mas, de preferência, a concentração em oxigênio no oxidante primário é mais elevada do que a concentração em oxigênio no oxidante secundário.

[0018] A composição do oxidante pode ser variável e segundo as condições ou os resultados desejados. De maneira geral, o oxidante pode ser constituído de u'a mistura de gás que comporta:

- de 5 a 100 % em volume de oxigênio, de preferência 30 a 100 %;
- de 0 a 95 % em volume de CO₂, de preferência 0 a 90 %;
- de 0 a 80 % em volume de N₂, de preferência 0 a 70 %;
- de 0 a 90 % em volume de Ar.

[0019] A mistura poderá também conter outros constituintes e notadamente vapor de água e/ou dos NO_x e/ou SO_x. Geralmente, o ar fornece 0 a 90 % em volume da vazão de oxigênio total do oxidante, o complemento sendo fornecido pelo ar enriquecido em oxigênio ou oxigênio

substancialmente puro. De preferência, o ar representa 15 a 40 % em volume da vazão de oxigênio total no oxidante.

[0020] De acordo com uma utilização vantajosa, as velocidades de injeção do segundo jato de oxidante primário e do jato de oxidante secundário são inferiores ou iguais a 200 m/s e quando o processo, de acordo com a invenção, é aplicado para a combustão de uma carga de vidro, as velocidades de injeção do segundo jato de oxidante primário e do jato de oxidante secundário são preferencialmente inferiores ou iguais a 100 m/s. Além disso, é preferível que a velocidade do jato de oxidante secundário seja superior à velocidade do segundo jato de oxidante primário.

[0021] A figura 1 representa uma vista esquemática parcial superior de um exemplo de um conjunto de um conjunto de combustão para a aplicação do processo, de acordo com a invenção, e a figura 2 representa a vista esquemática em corte correspondente. O conjunto de combustão é colocado em um bloco refratário 1 que apresenta três perfurações cilíndricas 2, 3 e 4, nas quais foram respectivamente deslizados três blocos 21, 31 e 41.

[0022] O bloco 21 comporta:

- uma canalização (ou injetor) 211 que desemboca em 22. Essa canalização 211 recebe o combustível líquido 212;
- uma canalização (ou injetor) 221 que desemboca em 22 e disposta de maneira concêntrica em torno da canalização 211 na qual o combustível líquido 212 é injetado. Essa canalização 221 recebe o gás de atomização 222;
- uma canalização (ou injetor) 231 que desemboca em 22 e disposta de maneira concêntrica em torno da canalização 221 na qual o gás de atomização 222 é injetado. Essa

canalização tem um diâmetro D_G em 22. Ela recebe o oxidante primário de envoltório 232.

[0023] O bloco 31, de preferência cilíndrico, é atravessado por uma canalização (ou injetor) 32 cujo orifício desemboca em 33 do bloco. Essa canalização (ou injetor) 32 tem um diâmetro em 33 igual a D_1 e o centro dessa canalização 32 fica situado a uma distância l_1 do centro da canalização 211. A canalização 32 recebe o oxidante primário (34) diferente do oxidante primário de envoltório.

[0024] O bloco 41, de preferência cilíndrico, é atravessado por uma canalização (ou injetor) 42 cujo orifício desemboca em 43 do bloco. Essa canalização (ou injetor) 42 tem um diâmetro em 43 igual a D_2 e o centro dessa canalização 42 fica situada a uma distância l_2 do centro da canalização 211. A canalização 42 recebe o oxidante dito secundário 44.

[0025] Para o funcionamento desse sistema, é possível utilizar a mesma fonte de oxidante para o oxidante primário (34 e 232) e o oxidante secundário (44), os diâmetros das canalizações correspondentes (32, 231 e 42) sendo escolhidos de maneira a fixar velocidades de injeção diferentes ou idênticas, segundo o tipo de combustão desejada.

[0026] De acordo com um modo vantajoso, as extremidades das canalizações que permitem a injeção de oxidantes estão em recuo no ponto refratário.

[0027] Pela aplicação do processo, de acordo com a invenção, é possível realizar a combustão de um combustível líquido, limitando a formação dos NO_x . Além disso, o

processo, de acordo com a invenção, apresenta a vantagem de permitir um controle da estabilidade da chama e da flexibilidade térmica do processo. Com efeito, segundo a natureza da carga e a geometria do forno, pode ser preferível utilizar uma chama de pequeno tamanho ou de grande tamanho, ou controlar a transferência térmica em certos pontos do forno ou homogeneizar a temperatura da abóbada. De acordo com a invenção, essa flexibilidade é obtida pelo controle da repartição da vazão de oxidante total entre o jato de oxigênio secundário e os jatos de oxidante primário, e, de preferência, entre o jato de oxidante secundário e o segundo jato de oxidante primário que é diferente do jato de oxidante primário de envoltório. Esse controle da repartição da vazão de oxidante total é também denominado aferição.

EXEMPLO

[0028] Utilizou-se um queimador que apresenta a configuração das figuras 1 e 2, e compreendendo, além disso:

- um segundo injetor de oxidante primário situado a uma distância l_1 , do jato de combustível líquido 211 e simétrico do primeiro injetor de oxidante primário 31 em relação ao injetor de combustível 211; e

- um segundo injetor de oxidante secundário situado a uma distância l_2 do injetor de combustível líquido 211 e simétrico ao primeiro injetor de oxidante secundário 42 em relação ao injetor de combustível 211.

[0029] Os cinco jatos estavam todos no mesmo plano. A potência do queimador era de 2 MW. O queimador foi instalado sobre um forno de 6 m de comprimento e de seção

transversal de 1,5 m em 2 m. A relação l_2/D_2 era de 14,6, a relação l_1/D_G era de 2 e a relação l_1/l_2 era de 0,26.

[0030] O combustível injetado era um combustível pesado que apresentou a seguinte composição:

87,9 % de C em peso;

10,02 % de H em peso;

0,67 % de O em peso;

0,39 % de N em peso; e

0,98 % de S em peso.

[0031] Sua viscosidade dinâmica era de 39 mm²/s a 100 °C, sua densidade era de 980 kg/m³ e seu poder calorífico inferior a 9631 kCal/kg.

[0032] O gás de atomização era seja o oxigênio, seja o ar.

[0033] Pela aplicação do processo, de acordo com a invenção, foi possível modificar a geometria da chama, controlando a repartição da vazão de oxidante total entre os diferentes injetores primários e secundários. Assim, pela injeção de 75 % da vazão de oxidante total nos injetores de oxidante secundário, obtém-se uma chama de amplo volume. Da mesma, pela injeção, modificando-se essa percentagem, é possível diminuir o volume da chama. Assim, segundo a natureza da carga e o local onde o queimador é instalado no forno, é possível, com o processo da invenção, ajustar o volume da chama.

[0034] A figura 3 representa a potência transferida pela chama ao fundo do forno em função da distância ao queimador para diferentes proporções da vazão de oxidante total injetado nos injetores secundários (50, 65 e 75 % da vazão de oxidante total injetado nos injetores

secundários). Observa-se que uma aferição importante (injeção de uma maior quantidade de oxidante nos injetores secundários do que nos injetores primários) permite reduzir a potência nas proximidades do queimador e aumentar a transferência longe dos injetores. Pelo processo, de acordo com a invenção, é assim possível modificar o perfil de transferência térmica. É uma vantagem do processo da invenção: com efeito, esse processo é adaptável a diferentes tipos de geometria do forno. No caso dos exemplos da figura 3, o gás de atomização é o oxigênio.

[0035] A figura 4 representa a temperatura da abóbada do forno ao longo do eixo longitudinal do forno em função da distância ao queimador para diferentes proporções da vazão de oxidante total injetado nos injetores secundários (50, 65 e 75 % da vazão de oxidante total injetado nos injetores secundários). Observa-se que uma disposição em andares importante pode permitir assegurar a homogeneidade da temperatura da abóbada. No caso dos exemplos de figura 4, o gás de atomização é o ar.

[0036] A figura 5 representa a quantidade de NO_x emitida em função da proporção de oxidante total injetado nos injetores secundários (disposição em andares) e para dois tipos de gás de atomização: o oxigênio e o ar. A curva relativa à utilização do oxigênio como gás de atomização é marcada por losangos brancos e a curva relativa à utilização do ar como gás de atomização é marcada por quadrados negros. Observa-se que com uma disposição em andares importante, a emissão de NO_x é de 200 ppm, caso o gás de atomização seja o oxigênio e de 300 ppm, caso o gás de atomização seja o ar.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de combustão de um combustível líquido e de um oxidante no qual se injeta pelo menos um jato de combustível líquido sob a forma atomizada e pelo menos um jato de oxidante, o jato de oxidante comportando um jato de oxidante primário e um jato de oxidante secundário, o jato de oxidante primário sendo injetado nas proximidades do jato de combustível líquido, de maneira a gerar uma primeira combustão incompleta; os gases provenientes dessa primeira combustão comportando ainda pelo menos uma parte do combustível, enquanto que o jato de oxidante secundário é injetado a uma distância l_2 do jato de combustão líquido que é superior à distância entre o jato de combustível líquido e o jato de oxidante primário, o mais próximo do jato de combustível líquido, de maneira a entrar em combustão com a parte do combustível presente nos gases oriundos da primeira combustão, a quantidade total de oxidante secundário sendo compreendida entre 50 e 90 % da quantidade total de oxidante injetada, em que o jato de oxidante primário é dividido em pelo menos um primeiro jato primário e pelo menos um segundo jato primário, o dito pelo menos um segundo jato de oxidante primário sendo injetado a uma distância l_1 do jato de combustível líquido, **caracterizado** pelo fato de que:

- os ditos pelo menos dois jatos primários incluem ainda pelo menos um primeiro jato de oxidante de envoltório que é injetado de maneira coaxial em torno do jato do combustível líquido sob a forma atomizada,

- a distância l_2 entre o jato de oxidante secundário e o jato de combustível está compreendida entre $8 D_2$ e $40 D_2$,

onde D_2 representa o diâmetro do círculo de mesma superfície que a superfície do injetor (42) através do qual o oxidante secundário é injetado, e

- a distância l_1 entre o segundo jato de oxidante e o jato de combustível líquido está compreendida entre $1,5 D_G$ e $l_2/2$, onde D_G representa o diâmetro do círculo de mesma superfície que a superfície do injetor (221) através do qual o primeiro jato de oxidante de envoltório é injetado.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do jato de combustível líquido sob a forma atomizada ser obtido por injeção coaxial de um jato de gás de atomização em torno de um jato de combustível líquido.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato do gás de vaporização ser escolhido dentre um gás oxidante, tal como o ar ou o oxigênio, ou um gás inerte, tal como o nitrogênio ou o vapor d'água.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 2 ou 3, **caracterizado** pelo fato da vazão mássica do jato de gás de atomização estar compreendida entre 5 e 40 % do valor da vazão mássica do jato de combustível líquido.

5. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pelo fato do diâmetro do círculo de mesma superfície do injetor (42) através do qual o oxidante secundário é injetado, denominado D_2 , estar compreendido entre 10 e 60 mm.

6. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo fato do diâmetro do círculo de mesma superfície que a superfície do injetor (32) através do qual o segundo jato de oxidante primário é

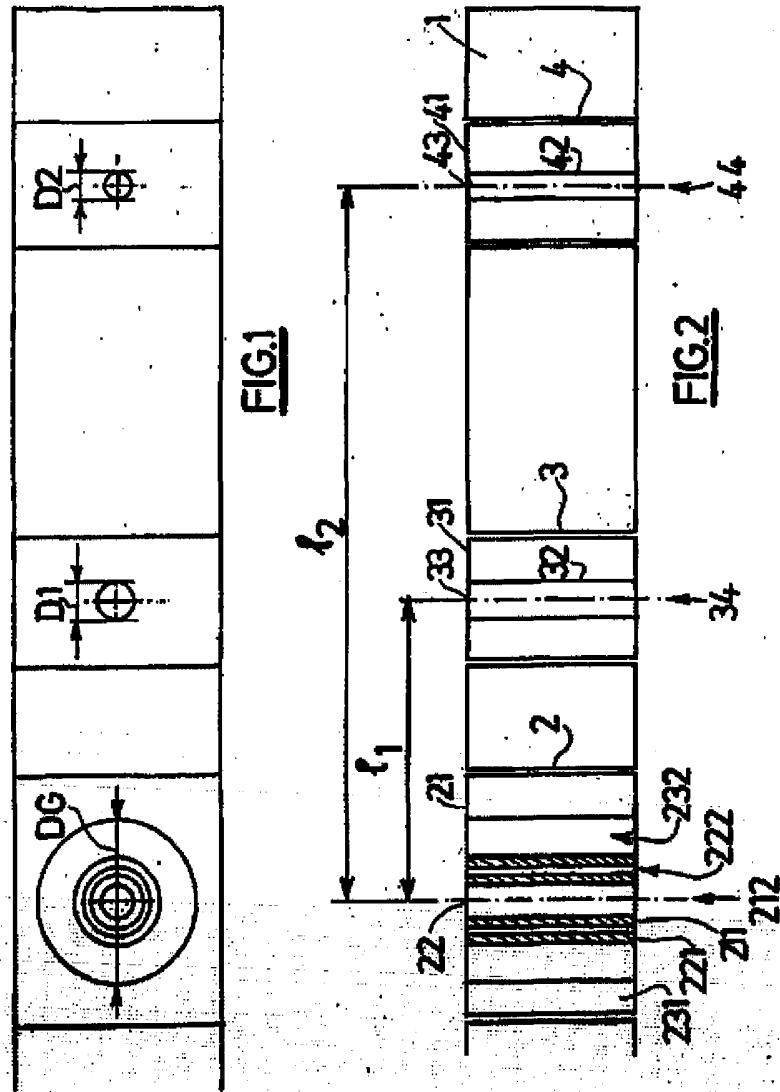
injetado, denominado D_1 , estar compreendido entre 15 e 70 mm.

7. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato da quantidade total de oxidante secundário estar compreendida entre 60 e 80 % da quantidade total de oxidante injetada.

8. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizado** pelo fato das velocidades de injeção do segundo jato de oxidante primário e do jato de oxidante secundário serem inferiores ou iguais a 200 m/s.

9. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, **caracterizado** por ser aplicado para a combustão de uma carga de vidro e pelo fato das velocidades de injeção do segundo jato de oxidante primário e do jato de oxidante secundário serem inferiores ou iguais a 100 m/s.

10. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado** pelo fato da vazão mássica do primeiro jato de oxidante primário de envoltório estar compreendida entre 10 e 20 % do valor da vazão mássica do jato de oxidante total (oxidante primário + oxidante secundário).



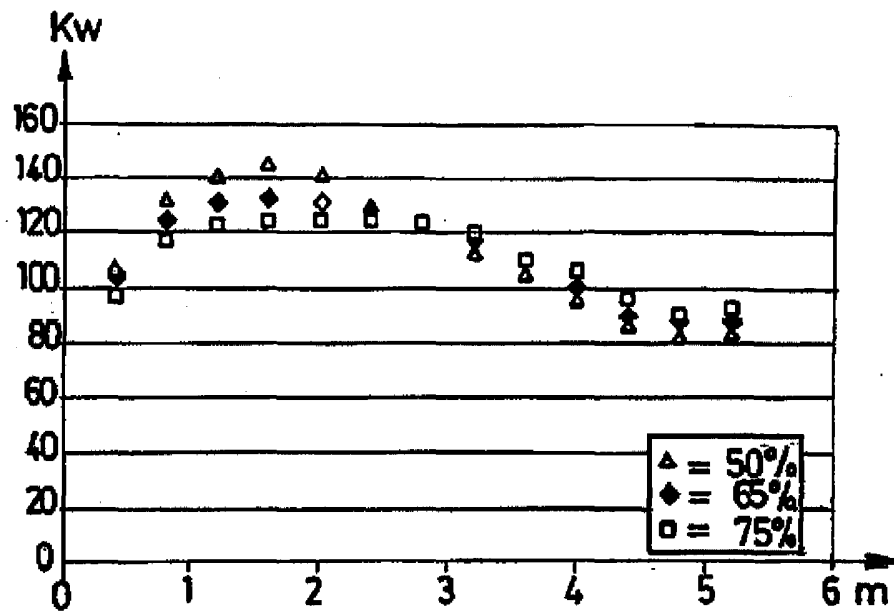


FIG. 3

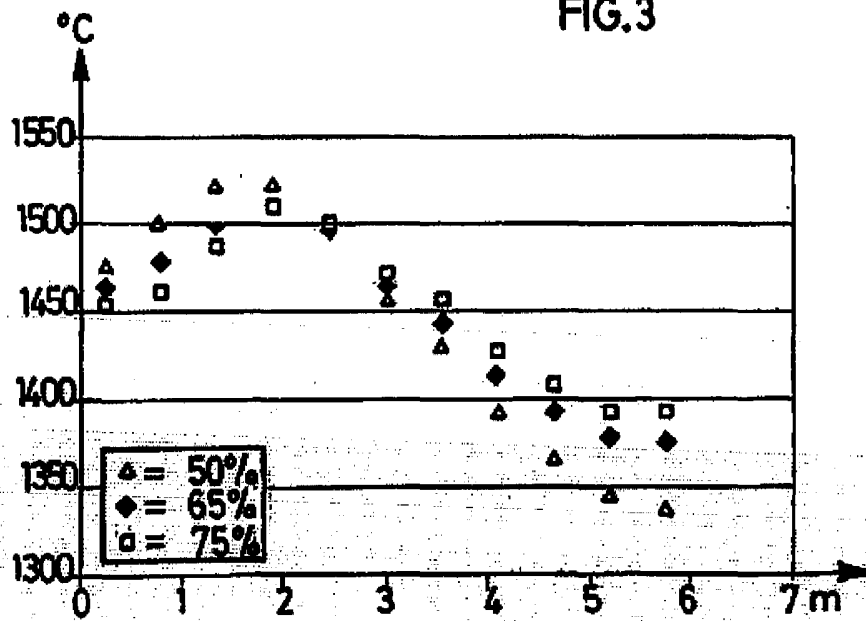


FIG. 4

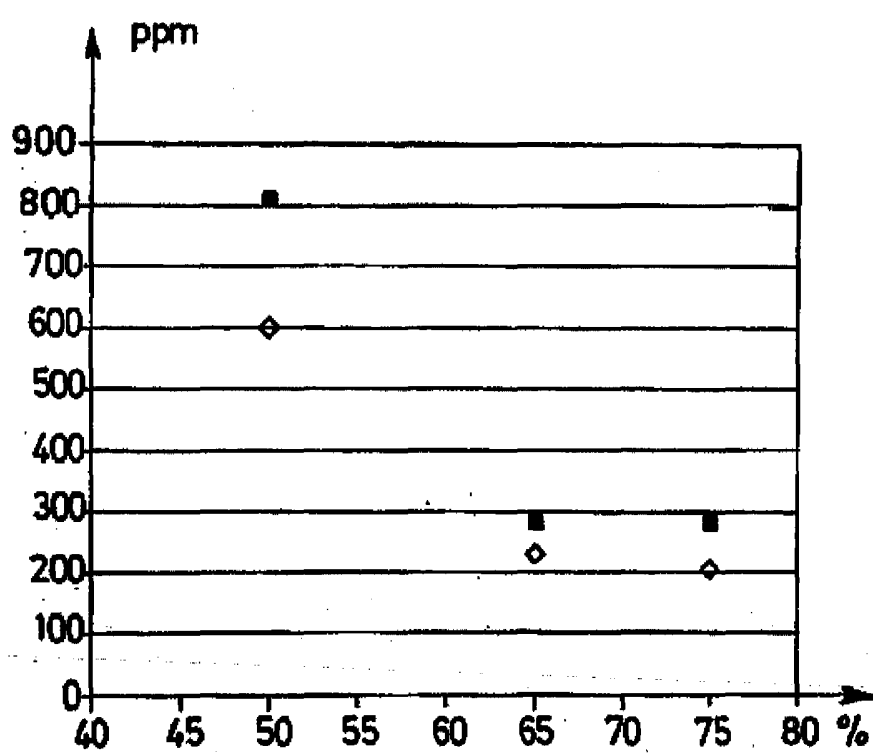


FIG.5

**PROCESSO DE COMBUSTÃO EM ETAPAS DE UM COMBUSTÍVEL LÍQUIDO E
DE UM OXIDANTE EM UM FORNO**

A invenção se refere a um processo de combustão de um combustível líquido e de um oxidante, no qual se injeta pelo menos um jato de combustível líquido sob a forma atomizada e pelo menos um jato de oxidante, o jato de oxidante comportando um jato de oxidante primário e um jato de oxidante secundário, o jato de oxidante primário sendo injetado nas proximidades do jato de combustível líquido, de maneira a gerar uma primeira combustão incompleta, os gases oriundos dessa primeira combustão comportando ainda pelo menos uma parte do combustível, enquanto que o jato de oxidante secundário é injetado a uma distância l_2 do jato de combustível líquido que é superior à distância entre o jato de combustível líquido e o jato de oxidante primário o mais próximo do jato de combustível líquido, de maneira a entrar em combustão com a parte do combustível presente nos gases provenientes da primeira combustão, no qual o jato de oxidante primário é dividido em pelo menos dois jatos primários, pelo menos um primeiro jato de oxidante de envoltório que é injetado de maneira coaxial em torno do jato do combustível líquido sob a forma atomizada, e pelo menos um segundo jato de oxidante primário injetado a uma distância l_1 do jato de combustível líquido.