



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

(21) PI 0822010-7 A2



(22) Data do Depósito: 18/01/2008

(43) Data da Publicação Nacional: 12/11/2019

(54) Título: SISTEMA APERFEIÇOADO DE COMBUSTÃO

(51) Int. Cl.: F27B 9/36.

(71) Depositante(es): ERNESTO ADOLFO HARTSCHUH SCHAUB.

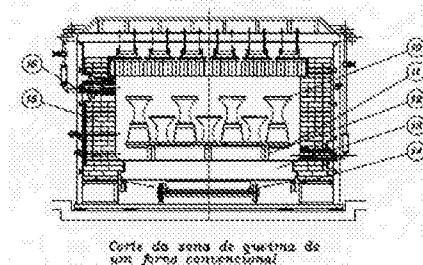
(72) Inventor(es): ERNESTO ADOLFO HARTSCHUH SCHAUB.

(86) Pedido PCT: PCT BR2008000015 de 18/01/2008

(87) Publicação PCT: WO 2009/089599 de 23/07/2009

(85) Data da Fase Nacional: 16/07/2010

(57) Resumo: SISTEMA APERFEIÇOADO DE COMBUSTÃO A presente invenção refere-se a um sistema aperfeiçoado de combustão em queimadores (16) para fornos industriais, mais especificamente para fornos tipo túnel de materiais cerâmicos, para melhorar a eficiência térmica e reduzir o consumo desses fornos nos processos de queima de carga (10), tais como pisos, azulejos, sanitários, refratários, porcelana, isoladores, reboios, cerâmicas de mesa, cerâmicas vermelhas e cerâmica em geral, através do uso de um rodízio de chamas, proporcionando uma superfície radiante de chama pela divisão desta em várias chamas menores intermitentes.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**SISTEMA  
APERFEIÇADO DE COMBUSTÃO**".

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção refere-se a um sistema aperfeiçoado de combustão em queimadores para fornos industriais, mais especificamente para fornos túneis destinados à queima de materiais cerâmicos.

DESCRIÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA

10 Os fornos tipo túnel, também conhecidos como fornos túnel a vagonetas, são amplamente conhecidos do estado da técnica, sendo utilizados há décadas para a queima de produtos cerâmicos, refratários, etc.

O funcionamento desses fornos ocorre basicamente da seguinte maneira: os produtos cerâmicos, refratários, etc, ora denominados "carga", entram na forma "crua" de um lado do forno e avançam para o lado oposto, onde saem "queimados". Todavia, para cada produto a ser queimado, existem diferentes curvas ideais de temperaturas internas, subdividas em cada seção do forno, de modo a proporcionar ao material as propriedades estruturais desejadas. Por exemplo, para chamote de porcelana, as temperaturas estão em torno de 1000°C. Já as porcelanas sanitárias, as temperaturas estão na faixa de 1200°C. Outras temperaturas, tais como 1450°C para as porcelanas duras de mesa, 1600°C para materiais de alta alumina, e até 1850°C para a queima tijolos básicos (utilizado em altos fornos) podem também ser verificadas.

25 Estes fornos túneis possuem um rendimento térmico muito bom se comparado aos fornos intermitentes. Dentre vários fatores, ressalta-se a não necessidade de aquecer os isolamentos dos fornos, assim como deve ser feito nos fornos intermitentes.

30 Como dito acima, a carga de material nas vagonetas entra e se movimenta, de forma contínua, de um lado para o outro do forno, análogo ao movimento de esteiras, onde passa por várias regiões com diferentes temperaturas, até queimar e curar por completo o produto. Na primeira região do forno, a matéria prima crua atravessa a zona de preaquecimento, onde o forno possui normalmente queimadores trabalhando apenas na parte inferior

da carga (entre o isolamento superior das vagonetas e a superfície inferior das placas de apoio da carga).

Em uma segunda região, a carga entra na zona de queima principal, que possui normalmente queimadores em dois níveis, por cima e por baixo da carga.

Saindo da zona de queima, a carga entra em um estágio de transição e logo em seguida entra na região de resfriamento rápido.

Nesta região de resfriamento, que não possui queimadores, ocorre a injeção direta de ar frio dentro do forno, por cima e por debaixo da carga.

A quarta região por onde passa a carga é uma zona de transição chamada de resfriamento lento, que precede a quinta e última região, onde ocorre o resfriamento final, na qual novamente é injetado muito ar para resfriar a carga, já queimada, até a temperatura ambiente.

Alguns documentos do estado da técnica ensinam a implementação de fornos industriais e seus respectivos queimadores, porém em nada se assemelham aos propósitos da presente invenção. O documento GB 1,559,652 depositado em 20 de setembro de 1977, descreve um forno para a queima de materiais cerâmicos aparentemente objetivando a eficiência térmica, onde as peças de cerâmicas são conduzidas individualmente ao longo do forno. Todavia, são aplicados em fornos de rolos rotatórios que giram de modo a avançar as peças (carga). Esse fornos, no entanto, não abaixam o consumo de gás nem tampouco mencionam o uso de queimadores. Ainda existem fornos como estes em funcionamento, mas é comum a ocorrência de problemas, motivo pelo qual não se constroem mais esses tipos de fornos a rolo de dupla passagem.

O documento GB 2,245,693, depositado em 27 de junho de 1991, descreve um forno de rolo para queimar produtos cerâmicos, onde a chaminé do forno é subdividida por um ou mais telhados intermediários feitos de elementos de placa de carboneto de silicone, com os queimadores direcionados para um espaço separados por telhados intermediários para aplicação indireta de calor. No entanto, esse documento é direcionado a um

problema específico de forno a rolos para produtos delicados. Também não tem o propósito de reduzir o consumo de gás (combustível comumente usado em fornos deste tipo).

5 O documento britânico GB 2,224,105, depositado em 11 de outubro de 1989, também refere-se a um forno industrial. Esse forno possui uma pluralidade de queimadores nos quais o ar secundário pode ser usado para alimentar a região da chama do queimador, em quantidades controladas, de acordo com o conteúdo do componente gasoso do forno. Esse documento refere-se à injeção de ar secundário nos queimadores convencionais. Ainda é amplamente utilizado atualmente, porém em fornos intermitentes e em produtos sensíveis. O ar secundário reduz a temperatura da chama e aumenta o volume de gases dentro do forno, tornando-o homogêneo. Diferentemente do propósito da presente invenção, o consumo aumenta e muito.

15 Outra solução existente encontra-se na patente norte-americana US 4,884,969, de 16 de novembro de 1985. Esse documento descreve um forno túnel para produtos de cerâmica compreendendo uma seção de aquecimento, uma seção de queima e uma seção de resfriamento onde, por dispositivos de condução de gás, os gases são retirados da região da seção de resfriamento e são conduzidos para a seção de queima, essa região compreendendo pelo menos um queimador adicional em uma região de transição entre a seção de queima e a seção de resfriamento. Esse documento possui um conceito próximo ao da presente invenção, de modo a utilizar o ar limpo que vem do fundo do forno para servir de ar de combustão e válido. A primeira grande diferença reside no fato de que esta invenção possui vários queimadores/injetores em duas regiões apenas: a primeira com 4 injetores localizada após o resfriamento rápido, que serve para homogeneizar as temperaturas e para aquecer o forno na hora de acendimento e a segunda região, com 8 injetores, localizada na transição da zona de queima e o resfriamento rápido. Além disso, a invenção utiliza queimadores convencionais na zona de queima e nesses 12 outros injetores compreende queimadores diferentes, mostrados na Figura 8. A segunda grande diferença está no fato de que, em nenhum momento, a invenção descreve um "rodizio" de chama.

Com a chama estática, as temperaturas localizadas são enormes, deixando marcas nos produtos e craqueando a saída do gás no injetor. Diferentemente, a presente invenção propõe-se a colocar injetores em toda a zona de queima e com o rodízio da chama. Essa característica é importante para não queimar todo o oxigênio em um local apenas.

#### OBJETIVOS DA INVENÇÃO

Tendo em vista os problemas descritos e com o intuito de superá-los, é proposto um sistema com o objetivo de reduzir em cerca de 30% o consumo de combustível nos processos de queima e cura de carga em fornos industriais.

É outro objetivo da invenção evitar o aquecimento localizado no ponto onde se forma a chama através da utilização de um rodízio da chama, e conseqüentemente evitar marcações indesejadas do produto final e o craqueamento dos injetores.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 ilustra uma vista em corte na zona de queima de um forno industrial convencional;

a Figura 2 mostra as diferentes regiões de um forno industrial e um gráfico com a curva de queima específica de materiais sanitários;

a Figura 3 ilustra a zona de preaquecimento de um forno;

a Figura 4 ilustra a zona de queima de um forno;

a Figura 5 ilustra as zonas de resfriamento rápido, resfriamento lento e resfriamento final de um forno;

a Figura 6 ilustra uma vista em corte da zona de queima de um forno com o sistema aperfeiçoado de combustão;

a Figura 7 ilustra uma vista externa da zona de queima de um forno com o sistema aperfeiçoado de combustão;

as Figuras 8A a 8F ilustram uma vista em planta dos injetores de fornos do tipo túnel com as chamas queimando em forma de rodízios, em intervalos de tempo progressivos; e

as Figuras 9A e 9B ilustram os sistemas de resfriamento dos queimadores injetores por camisa de água e por camisa de ar, respectiva-

mente.

### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

O sistema aqui apresentado pode ser mais bem compreendido a partir da seguinte descrição detalhada das figuras.

5 A Figura 1 ilustra uma vista em corte da zona de queima de um forno convencional. A carga 10, isto é, os produtos cerâmicos, refratários, etc. entram no forno na forma "crua", e percorrem durante horas todo seu interior até o lado oposto, onde saem "queimados". Para cada produto exist-  
10 tem curvas de temperatura interna em cada seção do forno a fim de dar ao material as propriedades desejadas. Como pode ser visto na Figura 2, as cargas percorrem o interior do forno e atravessam diferentes regiões e temperaturas. O gráfico inferior da Figura 2 ilustra uma curva de temperatura típica para materiais sanitários.

O forno possui um isolamento cerâmico 15 nas laterais e no teto.  
15 A espessura desse isolamento 15 depende das características do mesmo e da temperatura daquela região. Voltando à Figura 1, na parte inferior do forno, o isolamento fica a cargo das vagonetas 13, estruturas extremamente resistentes que possuem uma estrutura de aço com rodas em ferro fundido. Essas vagonetas encontram-se encostadas umas nas outras desde a entra-  
20 da até a saída do forno. Para movimentá-las, basta empurrar a primeira com um cilindro hidráulico para que todo o trem de vagonetas avance uma posição. A velocidade de avanço do cilindro que empurra as vagonetas depende do material a ser queimado.

Por cima da estrutura de aço é colocado o isolamento e as colu-  
25 nas suporte 12 das placas de apoio 11 da carga 10. A fim de evitar a entrada ou saída de gases do forno pelas laterais da vagoneta, essas possuem saias 14 que deslizam dentro de uma calha cheia de areia.

Estes fornos túneis possuem um rendimento térmico muito bom se comparado a fornos intermitentes. Dentre vários fatores, ressalta-se a  
30 não necessidade de aquecer os isolamentos dos fornos, assim como deve ser feito nos fornos intermitente. Além disso, como dito acima, a carga de material nas vagonetas entra e se movimenta, de forma contínua, de um la-

do para o outro do forno, análogo ao movimento de esteiras, onde passa por várias regiões de diferentes temperaturas, até queimar e curar por completo o produto.

Na primeira região do forno, como pode ser visto na Figura 3, a matéria-prima crua atravessa, sobre as vagonetas, a zona de preaquecimento, onde o forno possui normalmente queimadores trabalhando apenas na parte inferior da carga (entre o isolamento superior das vagonetas e a superfície inferior das placas de apoio da carga).

Em uma segunda região, de acordo com a Figura 4, a carga entra na zona de queima principal, que possui normalmente queimadores em dois níveis, por cima e por baixo da carga. Os gases de combustão gerados percorrem o caminho inverso, sendo aspirados pelo tiro do forno localizado na entrada (ilustrado na Figura 3).

Saindo da zona de queima, a carga entra em uma sub-região, passando por uma pequena zona de transição e logo em seguida entra na terceira região, a zona de resfriamento rápido. Esta região de resfriamento não possui queimadores e é nela que ocorre a injeção direta de ar frio dentro do forno, por cima e por debaixo da carga.

A quarta região por onde passa a carga é uma zona de transição chamada de resfriamento lento, que precede a quinta e última região, onde ocorre o resfriamento final, na qual novamente é injetado muito ar para resfriar a carga, já queimada, até a temperatura ambiente. Essas três últimas regiões, de resfriamento rápido, resfriamento lento e resfriamento final, estão ilustradas na Figura 5.

Como pôde ser verificado acima, os ares e suas respectivas temperaturas são os pontos chaves para a perfeita cura do material que se deseja queimar, principalmente os ares de resfriamento. Partes dos ares são aspirado na saída do forno pelo sistema de aspiração do ar quente. No entanto, elevados volumes desses ares são aspirados pelo tiro do forno localizado na entrada do mesmo. É justamente este ar aspirado pelo tiro do forno que proporciona o grande diferencial entre um forno túnel e um forno intermitente.

Basicamente, este ar aspirado entra frio do lado oposto à entrada do forno e, ao longo do caminho contrário e conforme avança, "absorve" a temperatura quente do material por troca de calor e a resfria a carga. Todo esse ar "frio" e puro (aproximadamente 21% de  $O_2$ ) atinge a zona de queima principal com uma temperatura levemente inferior (diferença em torno de 30°C) à da temperatura de queima do produto. É importante ressaltar que aproximadamente 90% desse ar avança por cima e por baixo da carga. Esse calor (vazão x temperatura x calor específico) é aproveitado, na grande maioria, para aquecer a carga. Não existe esse ar nos fornos intermitentes.

Em outras palavras, os fornos são grandes trocadores de calor, aonde a carga vai da entrada para a saída e os gases da saída para a entrada.

Os fornos túneis existentes atualmente, conforme pode ser visto no corte transversal da Figura 1, possuem queimadores divididos em grupos de queima. Um forno túnel possui de 3 a 11 grupos de queima. Cada módulo do forno possui cerca de 2 a 3 m de comprimento e uma separação entre queimadores do mesmo lado do forno de 0,75 a 1,5 m. Já os queimadores do lado oposto encontram-se desencontrados e não estão alinhados.

Cada queimador convencional injeta gás e ar com um fator de excesso de ar que pode variar em média de 0,8 a 1,15 (variação normal). Isso significa que, por exemplo, para queimar  $1m^3$  de um gás natural, é necessário um volume mínimo de ar de  $8,5 m^3$  para obter-se a queima estequiométrica (fator de excesso de ar = 1). Consequentemente, isso significa que o queimador convencional injeta, por cada  $m^3$  de gás, uma vazão de ar que varia de  $0,8 \times 8,5 = 6,8$  a  $1,15 \times 8,5 = 9,77 m^3$  de ar.

Normalmente, injeta-se o ar frio do ambiente nos queimadores. Alguns fornos, principalmente os de alta temperatura, possuem sistemas recuperativos para preaquecer o ar de combustão a temperaturas de até 400°C. O objetivo principal desse preaquecimento é poupar energia. Quanto maior for a temperatura do ar de combustão, maior é a temperatura da chama e um menor volume de gás se faz necessário para obter a mesma temperatura. A temperatura adiabática de chama, com dissociação, passa de

1971°C com o ar a 25°C para 2543°C com o ar a 1100°C.

O ideal, do ponto de vista teórico, seria não injetar diretamente o ar de combustão frio nos queimadores convencionais e aproveitar o ar "preaquecido" que decorre do resfriamento como ar de combustão. A idéia seria basicamente substituir um queimador convencional por vários injetores de gás puro ou com um fator de excesso de ar em torno de 0,1 a 0,2. Ocorre que, na prática, isso nunca pôde ser alcançado, devido principalmente a dois fatores: o sobreaquecimento localizado no ponto onde se forma a chama, e o entupimento na saída do gás do queimador devido ao craqueamento do gás.

Para o segundo problema, é possível projetar uma saída especial do gás e usar água de resfriamento até a saída etc. Mas para o problema do sobreaquecimento localizado da chama, a presente invenção propõe-se a resolver, através de uma superfície radiante de chama pela divisão da chama em várias menores intermitentes, ao invés de concentrar a chama em um ponto contínuo.

A presente invenção procura, justamente ao invés de utilizar queimadores convencionais na zona de queima (temperaturas por cima dos 800°C), implementar vários injetores de gás puro ou com muito pouco ar, proporcionando assim a queima de forma pulsante, como pode ser visto na Figura 6.

É inserido um dispositivo de controle, preferencialmente uma válvula solenoide, em cada injetor, de modo que o grupo de injetores faça o rodízio, obedecendo ao sinal de um controlador lógico programável (PLC) com software dedicado. Isso evita a ocorrência de sobreaquecimentos localizados. A Figura 7 ilustra a vista externa do forno incluindo a pluralidade de injetores e sua configuração.

As Figuras 8A a 8F ilustram os injetores do forno queimando alternativamente na forma de um rodízio. Na Figura 8A, em um universo de injetores numerados de 20 a 39, os queimadores injetores em funcionamento no instante  $t_1$  são os de número 20, 25, 30 e 35. Em um instante  $t_2=t_1+1$ , os injetores anteriores desligam e passam a funcionar os injetores 22, 27, 32

e 37 – Figura 8B. No instante  $t_3=t_2+l$ , os injetores anteriores desligam e os posteriores 24, 29, 34 e 39 passam a queimar e assim sucessivamente, até o instante  $t_6$ , ilustrado na Figura 8F, que equivale a retomada do ciclo iniciado em  $t_1$ . Esse tempo é controlado pelo controlador lógico programável (PLC) e o intervalo  $t$  pode ser configurado de acordo com a conveniência.

Além disso, para evitar o craqueamento do gás, é possível refrigerar a ponta do injetor através de um meio de refrigeração 18, preferencialmente uma camisa de água, ou com uma circulação de uma pequena quantidade de ar pelo mesmo. Esse sistema de resfriamento pode ser verificado nas Figuras 9A e 9B. Analogamente, de modo a melhorar o rendimento térmico, é possível ainda aperfeiçoar as regiões de resfriamento dos fornos a fim de obter mais ar e maiores temperaturas do mesmo que venham a entrar na zona de queima, pela recirculação do ar na saída bem como usar o ar quente recuperado do fundo do forno no ventilador do resfriamento rápido. Isso se dá colocando recirculadores no teto da saída do forno, obtendo-se um aumento considerável da temperatura do ar de resfriamento. Esse recurso equivale a aumentar o tamanho do forno, como se estivesse "esticando" o forno na sua saída.

Outra possibilidade de se aumentar a quantidade de ar quente é usar ar preaquecido no ventilador de resfriamento rápido no lugar de ar frio. Nota-se que esse ar pode ser retirado do ar quente na saída do forno.

Há de se ressaltar que a presente invenção também pode ser implementada em fornos túneis a rolos.

Portanto, deve ser entendido que o objeto da presente invenção e suas partes componentes descritas acima fazem parte de algumas das modalidades preferidas e de exemplos de situações que poderiam ocorrer, o real escopo do objeto da invenção encontrando-se definido nas reivindicações.

## REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de combustão de material cerâmico compreendendo um forno tendo paredes com isolamentos (15), e sendo dividido em diferentes regiões com diferentes temperaturas, a zona de acendimento do sistema  
5 ainda compreende uma pluralidade de injetores (16) divididos em grupos, cada injetor compreendendo um dispositivo de controle **caracterizado pelo fato de que** os grupos de injetores são dispostos em um arranjo de rotação lateral e são ativados independe e alternativamente em intervalos de tempo presente e em uma condição de laço para evitar superaquecimento localiza-  
10 do; e

em que o sistema de combustão ainda compreende um recirculador de ar na saída do forno na direção da zona de acendimento para melhorar a eficiência térmica com realimentação de ar de alta temperatura.

2. Sistema de combustão, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** cada grupo de injetores é ativado por um controlador lógico programável (PLC) com um software dedicado.  
15

3. Sistema de combustão, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o forno pode ser um forno industrial do grupo dos fornos tipo túnel, rolo, e afins.  
20

4. Sistema de combustão, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** os injetores injetam gás puro ou com pouca quantidade de ar.  
25

5. Sistema de combustão, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a ponta de cada injetor da pluralidade de injetores é refrigerada por um dispositivo de refrigeração (18).  
25

6. Sistema de combustão, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado pelo fato de que** o dispositivo de refrigeração (18) é um revestimento de água ou a circulação de uma quantidade de ar.

7. Sistema de combustão, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o dispositivo de controle é uma válvula solenóide.  
30

8. Método para controlar o sistema de combustão de um forno, o

forno tendo paredes com isolamento (15), dividido em diferentes regiões com diferentes temperaturas, o sistema de combustão compreendendo uma pluralidade de injetores (16) divididos em grupos, cada injetor compreendendo um dispositivo de controle, o método **caracterizado pelo fato de que**

5 compreende as etapas de:

a) ativar o grupo de injetores queimadores em um instante  $t_1$ ;

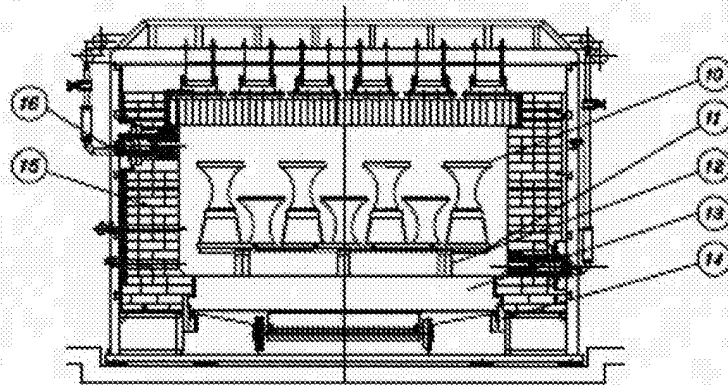
b) ativar outro grupo de injetores queimadores em um instante  $t_2=t_1+1$  e simultaneamente desligar o grupo de injetores queimadores anterior;

10 c) alternar os grupos de injetores queimadores a serem ativados repetindo as etapas a) e b) em um instante incrementado em relação ao anterior até um instante  $t_n$ , em que  $n$  é o número total do grupo de injetores queimadores; e

d) reiniciar o ciclo em laço iniciando com  $t_1$ .

15 9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo fato de que** o mesmo grupo de injetores queimadores é ativado no instante  $t_n$  e  $t_1$ .

20 10. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de alternar os grupos de injetores queimadores pressupõe a etapa de ativar cada grupo de injetores queimadores emitindo um sinal de saída gerado pelo controlador lógico programável (PLC) para controlar o sincronismo e evitar superaquecimento localizado.



Corte da zona de queima de  
um forno convencional

FIG. 1

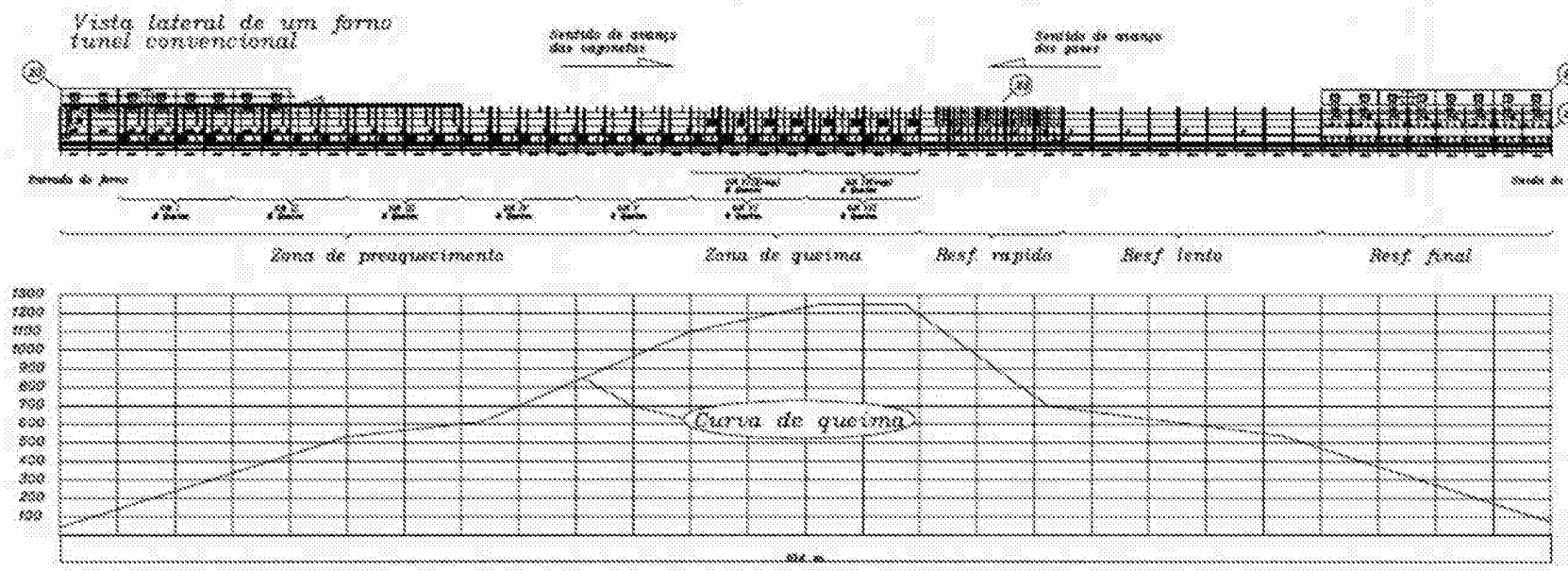


FIG. 2

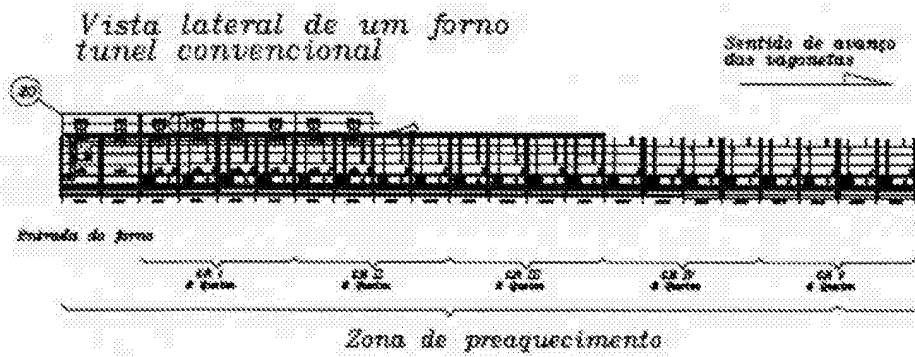


FIG. 3

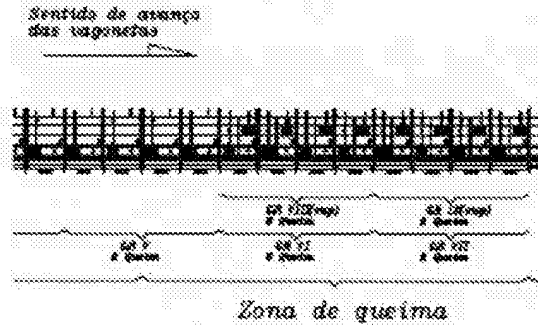


FIG. 4

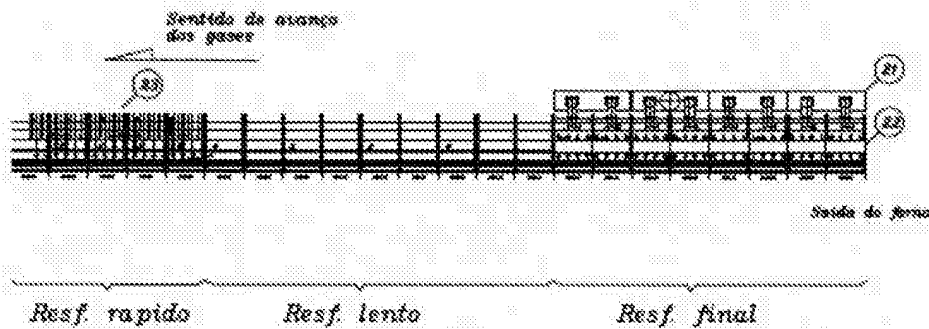
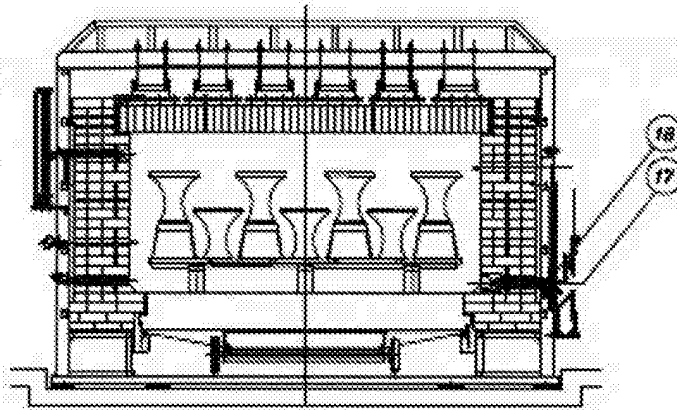
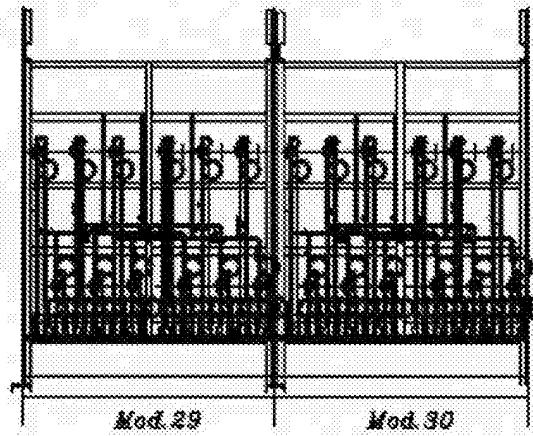


FIG. 5



Corte da zona de queima de  
com novo sistema de combustão

FIG. 6



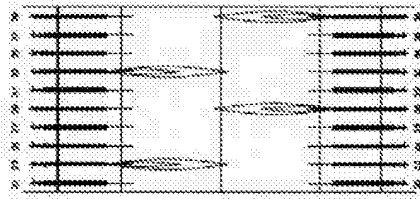
Vista lateral externa de um forno  
com novo sistema de combustão

FIG. 7



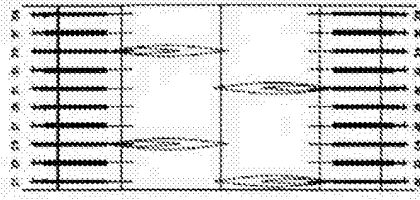
Vista em planta  
dos injetores  
instante 14=13+1  
Injetores ligados  
21, 26, 31, 36

**FIG. 8A**



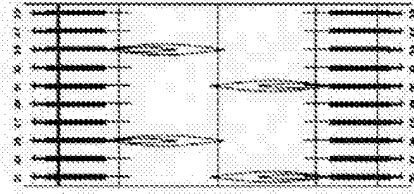
Vista em planta  
dos injetores  
instante 15=14+1  
Injetores ligados  
23, 28, 33, 38

**FIG. 8B**



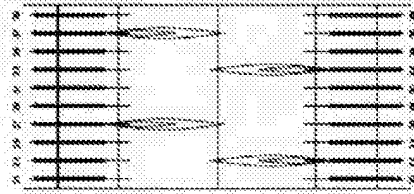
Vista em planta  
dos injetores  
instante 16=15+1  
Injetores ligados  
20, 25, 30, 35

**FIG. 8C**



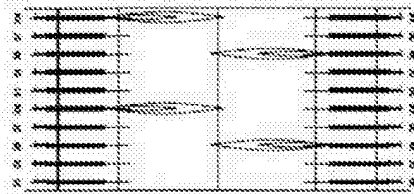
Vista em planta  
dos injetores  
instante t1  
Injetores ligados  
20, 25, 30, 35

**FIG. 8D**



Vista em planta  
dos injetores  
instante t2=114  
Injetores ligados  
22, 27, 32, 37

**FIG. 8E**



Vista em planta  
dos injetores  
instante t3=124  
Injetores ligados  
24, 29, 34, 39

**FIG. 8F**

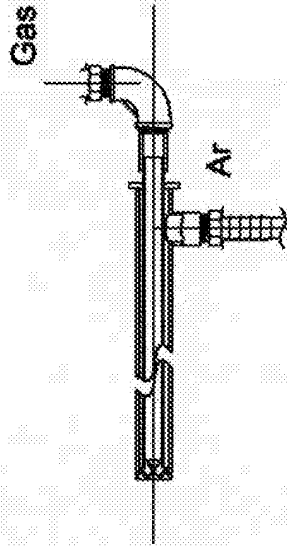


FIG. 9B

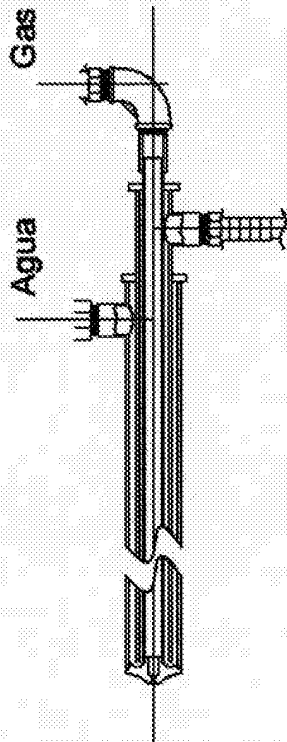


FIG. 9A

## RESUMO

Patente de Invenção: **"SISTEMA APERFEIÇOADO DE COMBUSTÃO"**.

A presente invenção refere-se a um sistema aperfeiçoado de combustão em queimadores (16) para fornos industriais, mais especificamente para fornos tipo túnel de materiais cerâmicos, para melhorar a eficiência térmica e reduzir o consumo desses fornos nos processos de queima de carga (10), tais como pisos, azulejos, sanitários, refratários, porcelana, isoladores, rebolos, cerâmicas de mesa, cerâmicas vermelhas e cerâmica em geral, através do uso de um rodízio de chamas, proporcionando uma superfície radiante de chama pela divisão desta em várias chamas menores intermitentes.