



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

(21) **PI0611031-2 A2**

(22) Data de Depósito: 23/05/2006
(43) Data da Publicação: 10/08/2010
(RPI 2066)



(51) *Int.Cl.:*
F27B 14/00

(54) Título: **MÉTODO DE MISTURAR GASES A ALTA TEMPERATURA EM FORNOS DE PROCESSAMENTO DE MINERAL**

(30) Prioridade Unionista: 25/05/2005 US 11/137.288

(73) Titular(es): ASH Grove Cement Company, Cadence Environmental Energy, INC.

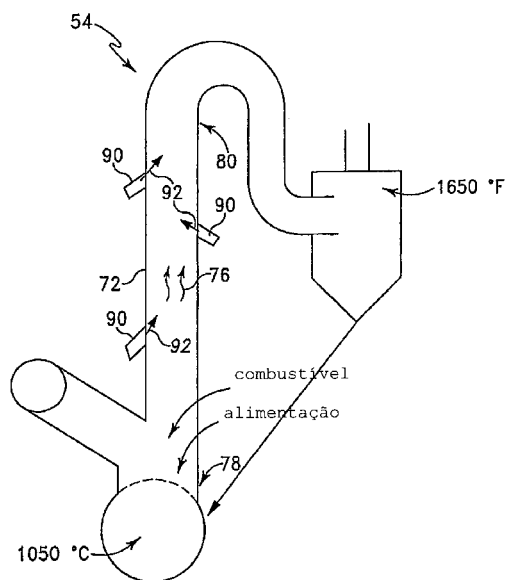
(72) Inventor(es): Eric R. Hansen, James Ronald Tutt, Ralph A. Pelak

(74) Procurador(es): Nellie Anne Daniel Shores

(86) Pedido Internacional: PCT US2006020056 de 23/05/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/001692 de 04/01/2007

(57) Resumo: Revela-se um método para reduzir emissões de NO_x e melhorar a eficiência de energia durante processamento de mineral num forno giratório (10). O método compreende a injeção de ar com alta velocidade/alta energia cinética ao forno (10) a fim de reduzir ou eliminar a estratificação de gases no forno. O método pode ser aplicado para misturar gases num vaso do forno giratório (12) ou num vaso de pré-aquecedor/pré-calcinador.



"MÉTODO DE MISTURAR GASES A ALTA TEMPERATURA EM
FORNOS DE PROCESSAMENTO DE MINERAL"

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS RELACIONADOS

Este pedido reivindica prioridade ao Pedido de Pa-
5 tente U.S. n° de Série 11/137.288, depositado em 25 de maio
de 2005, o qual é uma continuação parcial do Pedido Não-
Provisório U.S. copendente N° de série 10/719.423, deposi-
tado em 21 de novembro de 2003, o qual é uma continuação da
Patente U.S. n° 6.672.865, depositada em 11 de setembro de
10 2001, que reivindica prioridade para o Pedido Provisório
U.S. n° de Série 60/231.663, depositado em 11 de setembro de
2000, Pedido Provisório U.S./ n° de série 6/251/129, deposi-
tado em 4 de dezembro de 2000 e Pedido Provisório U.S. n° de
série 6.276.355, depositado em 16 de março de 2001. Cada um
15 desses pedidos, bem como a patente estão ora incorporados ao
presente a título de referência.

CAMPO DA INVENÇÃO

Esta invenção refere-se ao método e aparelho para
eficiência de operação melhorada e emissões reduzidas de
20 fornos de processamento mineral e, em particular os fornos
onde o mineral processado libera gás durante o processamento
térmico. Mais particularmente, a invenção é direcionada à
injeção de ar de alta velocidade/alto momento para a corren-
te de gás no forno para misturar os componentes da corrente
25 de gás e dissipar os gases liberados que abafam o leito do
mineral, permitindo assim, uma transferência térmica mais
eficiente para o processamento interno do mineral e, ao mes-
mo tempo, reduzir os poluentes na corrente de efluente do

gás no forno.

ANTECEDENTES E SUMÁRIO DA INVENÇÃO

O processo comercial amplamente empregado para manufatura do cimento, as etapas de secagem, calcinação e clinquerização de materiais brutos do cimento são realizadas passando-se a matéria prima finamente dividida, incluindo minerais de calcário, sílica e alumina, através de um vaso rotativo inclinado, aquecido ou forno. No que se conhece como fornos e processo a seco ou úmido de longa duração convencionais todo o processo de aquecimento do mineral é realizado num cilindro de forno rotativo aquecido, referido em geral como um "vaso rotativo". O vaso rotativo tem, tipicamente 10 a 15 pés de diâmetro = 3,05/4,572 m/minutos e 200-700 pés de comprimento = 61,0/213,36 m/minutos, e é inclinado de forma que, quando o vaso é girado, a matéria bruta introduzida na extremidade superior do cilindro do forno desloca-se sob a influencia da gravidade, no sentido da extremidade "em combustão" inferior, onde ocorre o processo de clinquerização final e, onde o produto clínquer de cimento é descarregado para resfriamento e subsequente processamento. AS temperaturas do gás no forno na zona de clinquerização queimada do forno variam desde cerca de 1300°C (~2400°F) a cerca de 2200°C (~4000°F). As temperatura de saída do gás de forno são tão baixas quanto cerca de 250°C (~400°F) a 350°C (~650°F) na extremidade receptora do mineral superior dos denominados fornos de processo úmido. Temperaturas de gás do forno de até 1100°C (~2000°F) existem na extremidade superior dos fornos rotativos do processo a seco.

Em geral, os versados na prática consideram que o processo de fabricação do cimento dentro do forno rotativo ocorre em vários estágios à medida que a matéria prima flui da extremidade de alimentação do mineral na saída do gás de refrigeração para a extremidade inferior da saída do clínquer/carvão do vaso do forno rotativo. À medida que o material de mineral desloca-se para baixo no sentido longitudinal do forno, este é submetido a temperaturas crescentes de gás no forno. Assim, na parte superior do cilindro no forno onde as temperaturas do gás de forno são as mais baixas, os materiais dos minerais em processamento, primeiro passam por um processo de secagem/pré-aquecimento e a seguir, deslocam-se para baixo do cilindro no forno até que a temperatura seja elevada à temperatura de calcinação. A extensão do forno, onde o mineral está passando por um processo de calcinação (libera dióxido de carbono) é denominada a zona de calcinação. O mineral em processamento, finalmente desloca-se para baixo do forno para uma zona onde as temperaturas do gás são as mais quentes, a zona de clinquerização na extremidade inferior queimada do cilindro do forno. A corrente de gás no forno flui contrário ao fluxo dos materiais minerais em processamento da zona de clinquerização, através da zona de calcinação intermediária e da zona de secagem/pré-aquecimento do mineral e para fora da extremidade de saída do gás superior do forno para um sistema de coleta de pó do forno. O fluxo de gases no forno através do forno podem ser controlados em alguma extensão, por um exaustor de corrente de ar posicionado na corrente de escapamento do

gás do forno. Durante os últimos 10-20 anos fornos de cimento pré-aquecedores/pré-calcinadores provaram energia eficiente muito mais significativa do que os fornos compridos tradicionais. Nos fornos de pré-calцинаção, o mineral bruto
5 é aquecido até temperaturas de calcinação num vaso de pré-calцинаção contra-corrente estacionário antes de cair no vaso rotativo aquecido para as reações de clínquerização a temperaturas mais altas.

Em resposta a problemas ambientais e regulação
10 mais rigorosa de padrões de emissão, a indústria de processamento mineral investiu em uma pesquisa significativa e esforços de desenvolvimento a fim de reduzir as emissões do cimento e de outros fornos de processamento de mineral. A presente invenção proporciona um método e aparelho para me-
15 lhorar a eficiência térmica e reduzir a emissão de poluentes gasoso durante a manufatura de produtos minerais termicamente processados, tais como cimento e calcário. A invenção encontra aplicação em ambos, os denominados fornos de processamento de mineral longitudinais e, no caso da manufatura
20 do cimento, fornos de pré-calцинаção, já reconhecidos por sua produção eficiente de energia do clínquer de cimento. A invenção proporciona vantagem na forma de emissões reduzidas e melhor eficiência de energia nos combustíveis suplementados, no processamento térmico de minerais que liberam gás,
25 incluindo, sem limitação talconita, calcário, matéria prima do cimento, e argilas para produção de agregados de peso leve.

Em um aspecto da invenção, ar de alta energi-

a/velocidade é injetado para a corrente de gás no forno a fim de reduzir ou eliminar a estratificação dos gases num forno durante o processamento térmico de um mineral que libera um gás à medida que este é processado.

5 Num outro aspecto desta invenção, a energia de misturação do gás no forno é fornecida à corrente de gás no forno por injeção de ar a alta velocidade para os fornos rotativos num modo projetado a conferir momento rotacional aos gases do forno no vaso rotativo. Descobriu-se que, a injeção de ar em alta velocidade para promover mistura em seção transversal nos fornos de processamento de mineral, opera na melhora da eficiência energética facilitando a transferência de energia ao leito do mineral, e ao mesmo tempo, tal injeção de ar, altera a estequiometria e perfil de temperatura de combustão na zona de combustão primária a fim de reduzir a formação de subprodutos de óxido de nitrogênio.

De acordo com um aspecto da presente invenção, é proporcionado um método de reduzir emissões de NO_x e melhorar a eficiência de energia durante o processamento do mineral num forno rotativo. O forno compreende um vaso rotativo inclinado com um queimador primário e uma entrada de ar de combustão em sua extremidade inferior e uma extremidade superior para introdução de mineral bruto. O método encontra uso particular onde o mineral num leito de mineral no vaso giratório, passa por uma reação química de liberação de gás durante o processamento térmico no forno. O método compreende a etapa de injetar ar ao vaso giratório a uma velocidade de cerca de 100 a cerca de 1000 pés por segundo = típica-

mente de uma fonte de pressurização de ar propiciando uma pressão estática maior do que cerca de 0,15 atmosferas = 15,20 KPa, e num aspecto da invenção, em um ponto ao longo da metade do comprimento inferior do vaso giratório, onde a
5 diferença de temperatura entre os gases do forno e o mineral é a mais alta, para misturar o gás liberado do mineral com gases de combustão do queimador primário. Preferivelmente, a velocidade de fluxo da massa do ar injetado é de cerca de 1 a cerca de 15% da velocidade da massa de uso do ar de com-
10 bustão pelo forno.

Numa modalidade o ar é injetado ao vaso giratório, preferivelmente através de um tubo de injeção de ar que se estende de um orifício na parede do vaso giratório para o vaso giratório e terminando num bocal para direcionar o ar
15 injetado ao longo de um trajeto predeterminado no vaso giratório. Tipicamente o ar é injetado ao vaso giratório através de dois ou mais bocais posicionados no vaso giratório a uma distancia de cerca de H a cerca de 2H da parede do vaso giratório onde "H" é a profundidade máxima do leito de mine-
20 ral no vaso. Preferivelmente, o passo predeterminado do ar injetado é direcionado para conferir momento rotacional aos gases de combustão escoando pelo vaso giratório. Num aspecto da invenção o método compreende ainda a etapa de queima suplementar de combustível liberado à jusante do vaso girató-
25 rio em relação ao fluxo de gás no forno no inferior do forno, de onde o ar é injetado para o forno. Em ainda uma outra modalidade da invenção o método inclui ainda a etapa de injeção de ar ao vaso giratório a uma velocidade de cerca de

100 a cerca de 1000 pés por segundo em um ponto a jusante, em relação ao fluxo de gás no forno, do orifício de liberação de combustível suplementar para a mistura de gás liberada de, tanto leito de mineral e combustível suplementar de
5 queima com os gases de combustão do queimador primário. A velocidade de injeção de ar para o forno é em torno de 1% a cerca de 1'5%, mais tipicamente, cerca de 1% a cerca de 7% da massa de ar de combustão total necessária por unidade de tempo durante a operação do forno. Numa modalidade particular da invenção os bocais de injeção têm um orifício com uma
10 relação de aspecto maior do que, por exemplo, um orifício de seção transversal retangular ou elíptico.

Num outro aspecto da invenção é proporcionado um método para reduzir emissões de NO_x e melhorar a eficácia de
15 combustão num forno de cimento pré-aquecido/pré-calcinado (PH/PC). O forno de pré-calcinador possui uma parte de vaso giratória com uma zona de combustão de queimador primário e uma parte de vaso pré-calcinador estacionária com uma zona de combustão do queimador secundário. Cada um dentre quei-
20 mador primário e a parte do pré-calcinador é suprida com quantidades controladas de ar de combustão pré-aquecido. Em operação, os gases de combustão da zona de combustão primária fluem em série através do vaso giratório, a parte de vaso pré-calcinador e para uma série de ciclones (turbilhona-
25 mento) em comunicação contra-corrente com uma alimentação de mineral. O método da presente invenção conforme aplicado a um forno pré-calcinador compreende a etapa de injetar ar comprimido para a parte do vaso pré-calcinador do forno num

ponto antes do primeiro ciclone, a uma velocidade da massa correspondente a cerca de 1% a cerca de 7% do ar de combustão total pro unidade de tempo necessária pelo forno. Preferivelmente, o ar é injetado a uma velocidade de cerca de 100 a cerca de 1000 pés por segundo através de dois ou mais bocais de injeção de ar. Numa modalidade o ar é comprimido a uma pressão de cerca de 4 a cerca de 150 libras/polegada quadrada = $0,281 \text{ kg/cm}^2$ - $10,54 \text{ kg/cm}^2$, mais tipicamente cerca de 40 a cerca de 100 libras/polegada quadrada = $2,81 \text{ kg/cm}^2$ - $7,030 \text{ kg/cm}^2$, antes de ser injetado para a parte do vaso pré-calcinado. Preferivelmente, os bocais são direcionados ao vaso pré-calcinador para otimizar a mistura transversal dos gases encerrados e mineral fluidizado. Numa modalidade os bocais são posicionados para promover fluxo turbulento no vaso e numa outra modalidade, os bocais são direcionados ao vaso pré-calcinador para promover fluxo rotacional ou em ciclone no referido vaso.

Numa modalidade alternativa da presente invenção é proporcionado um forno de cimento pré-calcinador modificado onde a modificação compreende um bocal para injeção de ar posicionado no ou sobre o vaso pré-calcinador estacionário e meios para fornecer ar comprimido ao bocal e ao vasos numa velocidade linear de cerca de 100 a cerca de 1000 pés/segundo =. Preferivelmente, o forno modificado é equipado com uma série de bocais posicionados para fornecimento de ar comprimido ao vaso pré-calcinador.

Numa outra modalidade da presente invenção é proporcionado um forno de processamento de mineral modificado

para operação com emissões de NO_x reduzido e maior eficiência de energia. O forno compreende um vaso giratório inclinado com um queimador primário e entrada de ar de combustão em sua extremidade inferior. O forno encontra aplicação particular no processamento térmico de minerais que passam por uma reação química de liberação de gás durante o processamento térmico. O forno é modificado a incluir um tubo de injeção de ar para injeção de ar ao vaso giratório a uma velocidade de cerca de 100 a cerca de 1000 pés/segundo = 30,48 m/segundos - 304,8 m/segundos. O tubo de injeção se estende de um orifício na parede do vaso e para o vaso giratório terminando num boca para direcionar o ar injetado ao longo de um passo predeterminado no vaso. O orifício é preferivelmente localizado num ponto ao longo da metade do comprimento inferior do vaso giratório para misturar o gás liberado do leito de mineral com gases de combustão do queimador primário. Modificações adicionais do forno incluem um ventilador ou compressor em comunicação de fluxo de ar com o tubo de injeção de ar e um controlador para o ventilador ou compressor a fim de ajustar a velocidade de injeção de ar ao forno. O ventilador ou compressor podem ser estacionários e em comunicação de fluxo de ar com o orifício na parede do vaso, através de, por exemplo, um sistema de ventilação anular alinhado com o passo do orifício durante a rotação do vaso. Alternativamente, o ventilador ou compressor podem ser montados na parede do vaso giratório para direcionar a injeção de ar ao forno. Libera-se energia ao ventilador ou compressor montados na superfície do vaso via um anel de e-

nergia circunferencial.

Preferivelmente, o forno de processamento de mineral modificado é modificado para incluir dois ou mais tubos de injeção de ar para injeção de ar ao vaso giratório, cada
5 tubo de injeção terminando num bocal para direcionar o ar injetado ao longo de um passo predeterminado no vaso. Preferivelmente, o bocal ou bocais são posicionados no vaso giratório a uma distancia de cerca de H a cerca de $2H$ da
10 parede do vaso giratório onde " H " é a profundidade máxima do leito de mineral no vaso do forno giratório. Os bocais de injeção de ar são de preferência posicionados de forma que, o passo predeterminado do ar injetado de cada bocal opere conferindo momento rotativo aos gases de combustão que fluem através do vaso rotativo.

15 Os tubos de injeção de ar podem ser montados para prolongar do orifício ao vaso giratório perpendicular a uma tangente ao vaso giratório no orifício e terminar num bocal para direcionar o ar injetado ao longo de um predeterminado passo no vaso selecionado a conferir momento giratório para
20 a corrente de gás no forno. Alternativamente, o tubo de injeção pode ser posicionado para estender-se do orifício no vaso giratório ao vaso a um ângulo agudo para uma tangente no orifício sendo substancialmente perpendicular a uma linha do raio do vaso giratório que se estende através da extremi-
25 dade do tubo. Tubos para injeção de ar assim configurados operam no direcionamento do ar injetado através da corrente de gás do forno para conferir momento rotativo à corrente de gás no forno no ponto de injeção. Numa modalidade, o orifí-

cio do tubo de injeção é formado para ter uma relação de aspecto maior que um.

O tubo de injeção é formado para comunicação com uma fonte de ar pressurizado, preferivelmente um ventilador, insuflador, ou compressor capaz de providenciar um diferencial de pressão estática maior que cerca de 0,15 atmosferas, preferivelmente maior do que cerca de 0,20 atmosferas = 20,26 KPa. O ventilador, insuflador ou compressor é dimensionado e energizado suficientemente para liberar ar injetado continuamente ao forno com uma entrada de energia cinética de cerca de 1 a cerca de 10 watt/hora por polegada de ar injetado (correspondente a cerca de 0,1 a cerca de 1 watt/hora por polegada de gás do forno). O tamanho do orifício dos bocais de injeção de ar são selecionados de modo que a velocidade de fluxo da massa de ar injetado à pressão estática aplicada seja de cerca de 1 a cerca de 15%, mais preferivelmente cerca de 1 a cerca de 10% ano vaso giratório ou cerca de 1 a cerca de 7% onde o ar é injetado para a parte estacionária pré-aquecida/pré-calcinada. A velocidade linear do ar injetado, tipicamente varia desde cerca de 100 pés/segundo a cerca de 1000 pés/segundo = 30,48 m/minutos - 304,8 m/minutos.

Numa modalidade o forno de processamento de mineral modificado compreende ainda um orifício de liberação de combustível suplementar e um tubo que se estende do orifício ao vaso giratório ao um ponto à jusante do vaso, em relação ao fluxo de gás no forno, do local do tubo de injeção de ar. O forno pode ser ainda modificado para incluir um ou mais

tubos de injeção de ar adicionais para injeção de ar ao vaso giratório a alta velocidade sob a influencia de um ventilador ou compressor em comunicação de fluxo de gás com o tubo de injeção de ar. O tubo de injeção termina num bocal para
5 direcionar o ar injetado ao longo de um passo predeterminado no vaso. O tubo de injeção de ar está localizado num ponto à jusante do vaso giratório, em relação ao fluxo de gás para o forno, do orifício de liberação de combustível suplementar, para misturar os gases liberados de, tanto o leito de mine-
10 ral e do combustível suplementar de queima com os gases de combustão do queimador primário. Providencia-se um controlador para o ventilador ou compressor para ajustar a velocidade de injeção de ar ao forno à jusante do ponto de injeção de ar.

15 Num aspecto da invenção é proporcionado um método para reduzir NO_x na corrente de gás efluente de um forno de cimento giratório longitudinal modificado para queima de combustível suplementar. O forno em operação, compreende um vaso cilíndrico inclinado girando em torno de seu eixo lon-
20 gitudinal. O vaso é aquecido em sua extremidade inferior por queimador primário e carregado com matéria prima em sua extremidade superior. Uma corrente de gás do forno flui da extremidade inferior aquecida com um queimador primário e uma entrada de ar de combustão através da extremidade supe-
25 rior do vaso. O material de mineral em processamento forma um leito de mineral que flui a uma profundidade H máxima sob a influencia da gravidade no vaso contra-corrente à corrente de gás do forno de uma zona de secagem na parte mais superi-

or do vaso giratório. O leito de mineral flui através de uma zona de calcinação intermediária, e para uma zona de clinquerização de alta temperatura antes de deixar a extremidade inferior como clínquer de cimento. Combustível suplementar é carregado ao vaso através de um orifício e de um tubo de queda, em comunicação com o orifício na parede do vaso para queima em contato com o mineral de calcinação em uma zona de queima secundária coincidente com pelo menos uma parte da zona de calcinação. A aplicação da presente invenção em reduzir NO_x a corrente de gás efluente do forno, compreende a etapa de injeção de ar a um velocidade de cerca de 100 a cerca de 1000 pés/segundo, através de um tubo de injeção de ar que se estende de um orifício no vaso terminando num bocal para direcionar o ar injetado ao longo de um passo predeterminado no vaso. O orifício de injeção de ar está localizado num ponto a jusante, em relação ao fluxo de gás do forno da zona de clinquerização e a montante em relação ao fluxo de gás no forno da extremidade superior da zona de calcinação. O bocal de injeção de ar está posicionado no vaso a uma distancia de cerca de H a cerca de 2H da parede do vaso e o passo predeterminado do ar injetado preferivelmente forma um ângulo maior do que 45° com um segmento linear paralelo ao eixo rotacional do vaso estendendo-se do ponto de injeção através da introdução do mineral no vaso. A velocidade de injeção de ar para o vaso é controlada em cerca de 1% a cerca de 10% da massa de ar de combustão total usada por unidade de tempo durante a operação do forno.'

Num outro aspecto da apresentação, é proporcionado

um método de conferir momento aos gases do forno que saem do vaso giratório do forno. O forno em operação, inclui uma parte estacionária posicionada próxima da extremidade superior do vaso giratório. A parte estacionária inclui um vaso estacionário e inclui injetores em comunicação com o vaso estacionário. Os injetores estão configurados para introduzir uma quantidade de ar não aquecido ao vaso estacionário. A quantidade de ar não aquecido confere momento aos gases do forno, que deixam o vaso giratório e fluem através do vaso estacionário.

DESCRIÇÃO SUCINTA DOS DESENHOS

As Figuras 1-4 são similares e ilustram diagramas parcialmente interrompidos de fornos de processamento mineral de acordo com a presente invenção para injeção de ar de misturação de alta velocidade ao vaso rotativo.

Figuras 5, 6, e 7 são vistas em seção transversal similares de fornos giratórios modificados de acordo com a presente invenção ilustrando modalidades alternativas para fornecimento de ar de misturação com alta velocidade ao vaso rotativo. A Figura 7a é uma vista plana parcialmente interrompida do ventilador na Figura 7 pelas linhas AA.

As Figuras 8a e 8b ilustram configurações do orifício do bocal alternativo.

As Figuras 9a e 9b ilustram padrões de fluxo num forno de cimento sem ar injetado de alta velocidade (9a) e com ar injetado de alta velocidade de acordo com esta invenção (9b) a montante de um aparelho de distribuição de combustível (pneu) suplementar (não mostrado).

As Figuras 10a e 10b são similares, ilustrando a estequiometria da combustão do queimador primário sem ar de injeção de alta velocidade (10a) e com 10% de ar de alta velocidade injetado (10b).

5 A Figura 11 é similar à Figura 10 mostrando a estequiometria da combustão em três zonas num forno operado com 15% de combustível suplementar fornecido ao forno a montante da injeção de ar de alta velocidade a 10%.

10 A Figura 12 é semelhante à Figura 11 ilustrando a estequiometria da combustão de combustível do forno onde o forno é modificado para queima de combustível suplementar e para injeção do ar de alta velocidade tanto a montante como a jusante do ponto de fornecimento de combustível ao vaso rotativo.

15 A Figura 13 ilustra os efeitos do ar de alta velocidade injetado no fluxo de gás do forno no forno ilustrado na Figura 12.

20 A Figura 14 é uma vista em seção transversal de um vaso de forno giratório contendo mineral em processamento liberando um gás (dióxido de carbono).

 A Figura 15 é similar à Figura 14 mostrando a mistura dos gases do forno por injeção de ar de alta velocidade ao vaso giratório.

25 A Figura 16 ilustra a transferência de energia radiante ao material em processamento na ausência de uma camada estratificada de gases liberados do leito de mineral.

 As Figuras 17-20 ilustram em diagrama, várias configurações dos vasos pré-calcinadores estacionários comerci-

almente disponíveis com "setas" ilustrando pontos para injeção de ar de alta velocidade para promover a mistura nos vasos estacionários com ar injetado a alta velocidade.

As Figuras 21 e 22 são similares às Figuras 1-4 e ilustram diagramas interrompidos parcialmente de fornos de processamento mineral modificados para injeção de ar com representação diagramática de monitoração e controladores de gás do forno para injeção e corrente de ar ou injeção de fluido.,

A Figura 23 é uma elevação parcialmente interrompida da parte extrema superior do vaso giratório de um forno pré-calcinador modificado para injeção de ar e fornecimento de combustível suplementar para redução de NO_x .

As Figuras 24-27 ilustram várias configurações diagramáticas de vasos pré-calcinadores estacionários comercialmente disponíveis que foram modificados para inclusão de injetores que introduzem ar de alta pressão para promover mistura nos vasos estacionários.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES ILUSTRADAS

De acordo com a presente invenção é injetado ar num forno giratório de processamento de mineral para fornecimento de energia aos gases no forno para adquirir misturação transversal. Esta invenção proporciona injeção de ar com o fim de eliminar a estratificação dos gases em um forno que, durante operação está processando um mineral que libera um gás à medida que este é processado tal como fornos de processamento de calcário, mistura de cimento bruto, argilas como em fornos de agregado de peso leve, e fornos de

taconita. O fim primordial do ar injetado é proporcionar energia para misturar os gases que são liberados do mineral em processamento com os gases de combustão oriundos da zona de combustão do forno e, portanto, existe uma multiplicidade de elementos especificados para esta invenção que coopera no todo ou em parte para adquirir o efeito da mistura de seção transversal do gás do forno que proporciona a vantagem realizada em uso da invenção numa ampla série de fornos de processamento de mineral.

10 A presente invenção especifica injeção de ar com o fito de reduzir ou eliminar a estratificação de gases num forno. Um forno típico tem de 8 pés = 2,44 m/minutos a mais de 20 pés = 6,1m/minutos em diâmetro e tem coeficientes de comprimento : diâmetro de 10:1 a mais de 40:1.

15 Materiais tipicamente calcinados são matérias brutas de cimento Portland, argilas, calcário, taconita e outros materiais de mineral que são termicamente processados e que liberam gases como aquecimento. A finalidade do ar injetado nesta invenção é proporcionar energia para mistura em seção transversal; o ar possui pouca, caso haja, função de proporcionar oxigênio para combustão. É comum entre os fornos de processamento mineral, como fornos de cimento e calcário, controlar o teor de oxigênio nos gases de escape a um nível tão baixo quanto prático e ainda evitar a formação de

20 quantidades significativas de monóxido de carbono ou dióxido de enxofre. É conveniente operar deste modo a fim de maximizar a eficiência térmica. A eficiência térmica pode ser afetada prejudicialmente, operando-se com muito pouco ar de

25

combustão, resultando na combustão incompleta do combustível ou ar de combustão em excesso, o que resulta num aumento de perdas térmicas.

É conveniente introduzir o ar de combustão para
5 processamento mineral através de um recuperador térmico que recupera o calor do produto de mineral processado descarregado do forno. O calor recuperado no ar de combustão que ingressa pode ser uma parte substancial da energia total fornecida ao processo. A injeção de ar ambiente à corrente
10 de gás do forno, num local diferente daquele da zona de combustão primária, normalmente não seria considerado favorável devido ao impacto negativo que ele poderia ter na recuperação de calor; o ar intrinsecamente injetado é substituído por ar de combustão arrastado através do recuperador
15 térmico.

A modelagem por computador de fornos de calcinação revelou que os gases liberados pelo mineral em processamento permanecem estratificados no forno. Comparado com os gases quentes oriundos da zona de combustão primária na extremidade de de descarga do material dos fornos de processamento do
20 mineral contra-fluxo, os gases liberados tem uma temperatura muito menor, e freqüentemente, de maior peso molecular e com uma densidade muito maior. Como resultado desta diferença na densidade, esses gases liberados permanecem no fundo do
25 forno. Além dos gases liberados do mineral de calcinação, eles também podem ser substâncias combustíveis liberadas, seja da alimentação de mineral, ou como um combustível adicionado ao processo na parte mediana do forno. Os gases li-

berados formam uma manta e cobrem esses materiais combustíveis do teor de oxigênio nos gases a níveis superiores da corrente de gás no forno. Esta manta de gases a baixa temperatura também protege o leito de mineral do contato direto com os gases de combustão quentes. Portanto, o processo necessita o uso de um método indireto de aquecimento. As paredes do forno são aquecidas pelos gases de combustão quentes e a rotação do forno resulta no contato das paredes quentes com o leito de mineral. Por meio desta invenção, uma pequena parte do ar de processo total, menos que 15% é injetado ao vaso giratório num modo que produz um componente rotacional ao momento da corrente de gás do forno, no forno. Este componente rotacional resulta em que os gases quentes que estavam passando ao longo do topo do forno sejam forçados para baixo no leito do mineral de calcinação, afastando a manta de gases liberados frios. Este contato dos gases quentes com o leito do mineral adiciona um outro mecanismo de transferência, melhorando desse modo, a eficiência térmica do processo para o forno.

A energia cinética do ar injetado e o momento rotacional resultante resulta nos gases liberados sendo misturados com os gases de combustão quentes e qualquer oxigênio residual desses gases e o ar injetado. Esta mistura transversal resulta na oxidação dos componentes combustíveis que poderiam estar contidos na manta de gás. Desse modo, as emissões dos componentes não queimados, como monóxido de carbono, dióxido de enxofre e hidrocarbonetos, podem ser reduzidos a um dado nível de ar em excesso. Ou os níveis de e-

missão anteriores podem ser mantidos a um nível reduzido de ar em excesso resultando numa melhor eficiência do processo . O benefício no novo mecanismo de transferência térmica e do ar em excesso reduzido alivia o impacto de recuperação de energia negativa da parte de ar que se desvia do recuperador.

O mecanismo de injeção de ar desta invenção está localizado num ponto ao longo do forno, onde há uma diferença significativa entre a temperatura do gás de combustão e a temperatura do leito de mineral. Tipicamente, isto seria um local no forno, tão próximo à zona de combustão quanto fosse prático, limitado pelo limite de temperatura do processo do aparelho, esperado ser de cerca de $2800^{\circ}\text{F} = 1538^{\circ}\text{C}$, até uma posição na extremidade do ventilador da zona de calcinação limitada por uma temperatura adequada para permitir a combustão após ocorrer a misturação, cerca de $1600^{\circ}\text{F} = 871^{\circ}\text{C}$ a cerca de $1850^{\circ}\text{F} = 1010^{\circ}\text{C}$. Numa modalidade da invenção, o tubo de injeção de ar está localizado na parte média mais quente (a metade inferior) do vaso giratório. Dada a natureza da maioria dos minerais calcinados em fornos giratórios, o benefício também irá ser obtido instalando-se o aparelho na zona de calcinação para romper e eliminar a estratificação . O aparelho também pode ser colocado na extremidade inferior onde o mineral já está quase completamente calcinado, para romper a formação da manta gasosa de alta densidade no mineral em processamento. Tubos múltiplos de injeção de ar, seja deslocados circunferencialmente, deslocados axialmente, ou ambos, podem estar localizados no forno. Eles podem cada qual ser independentemente conectados a um venti-

lador, insuflador ou compressor ou eles podem estar em comunicação de fluxo de injeção de ar com um tubo de distribuição pressurizado.

É também possível retirar vantagem do teor de oxigênio no ar injetado a fim de criar um combustão em etapas com o fito de controlar óxidos de nitrogênio. Devido à recuperação de energia perdida supracitada no ar de combustão a combustão em etapas nos fornos giratórios de processamento de mineral não é praticada devido à falha de alta energia percebida. Fornos giratórios tais como incineradores ou fornos de processamento de coque, podem praticar a combustão em etapas, porém tais fornos não possuem uma alta proporção de energia recuperável em seu produto de descarga e, portanto, não possuem as limitações funcionais dos fornos de processamento de mineral. Ainda, devido à melhor eficiência de combustão, menos ar em excesso é necessário para se adquirir a combustão completa. A misturação intensificada e resultante ausência de estratificação da combustão no forno irá permitir a aquisição de combustão planejada com quantidades de ar em excesso que não prejudicam indevidamente, os requisitos de energia do processo. Injeção de alta energia de ar para misturação em seção transversal permite o uso da combustão planejada em fornos de processamento de mineral para controle de emissões.

Com referência às Figura 1-4 fornos de processamento de mineral 10 incluem um vaso giratório 12 com uma parede cilíndrica 14,, uma extremidade para entrada/queimador de ar de combustão inferior 16 e uma extremidade de saída de

gás superior 18. Em operação, a alimentação do mineral bruto 20 é distribuída para a extremidade de saída do gás 18, com rotação do vaso giratório 12, o leito de mineral desloca-se da extremidade de saída do gás 18 em direção à extremidade de entrada de ar/queimador 16, fluindo contracorrente para os produtos de combustão formando a corrente de gás no forno. O queimador 24 é fornecido com fonte de combustível primário 26, e o ar de combustão é arrastado do recuperador de calor 30, através do capuz 28 para a extremidade de entrada de ar de combustão 16. O mineral processado deixa a extremidade de entrada de ar de combustão 16 e é liberado ao recuperador de calor 30. Um ou mais tubos de injeção de ar 32 em comunicação de fluxo de ar com um ventilador, insuflador ou compressor 34 estão localizados ao longo do comprimento do vaso giratório 12 em locais onde o mineral em processamento no leito de mineral 22 está calcinando ou onde as diferenças de temperatura entre a corrente de gás no forno e o leito do mineral são as mais extremas, porém tipicamente, na metade da parte mais inferior do vaso giratório 12, a parte mais próxima da extremidade da entrada/queimador de ar de combustão 16 do que da extremidade de saída do gás 18. Tubos de injeção de ar 32 terminam no vaso giratório como um bocal 26 posicionado para direcionar o ar injetado ao longo de um passo destinado a conferir momento rotacional para a corrente de gás no forno. O orifício 38 no bocal 36, numa modalidade da invenção, possui uma relação de aspecto maior do que um (Ver Figuras 8a e 8b ilustrando orifícios de seção transversal retangular).

Com referência às Figuras 3 e 4, o forno de processamento de mineral pode ser ainda modificado par queimar combustível suplementar liberado da fonte de combustível suplementar 40 através do dispositivo de fornecimento de combustível 42 para o vaso giratório a fim de queimar, em contato com o mineral em processo no leito de mineral 22. Numa modalidade da invenção o ar é injetado para conferir momento rotacional à corrente de gás no forno num ponto entre o dispositivo de distribuição de combustível 42 e extremidade de entrada de ar de combustão/queimador 16. Opcionalmente, o ar é injetado em um ou mais pontos adicionais no vaso giratório 12, entre o dispositivo de fornecimento de combustível suplementar 42 e a extremidade de saída do gás 18.

Com referência as Figuras 5 e 6, dois ou mais tubos de injeção de ar 32 podem ser circunferencialmente (ou axialmente) na parede cilíndrica 14 do vaso giratório 12. Ar pressurizado é fornecido aos tubos de injeção pelo ventilador ou insuflador 34 em comunicação de fluxo de ar através do tubo de distribuição 46. Alternativamente, como ilustrado na Figura 7, cada tubo de injeção pode ser conectado diretamente a um insuflador ou ventilador 34 para distribuição de ar de alta energia/velocidade para a corrente de gás no forno. Os tubos de injeção de ar 34 terminam no forno num ponto entre o topo do leito do mineral 22 e o eixo de rotação do vaso giratório 12 na forma de um bocal para direcionar ar injetado de alta energia 50 para o vaso giratório a fim de conferir momento rotacional à corrente de gás no forno.

Com referência à Figura 9b, injetando-se ar de alta energia ao forno para produzir momento rotacional aos elementos de combustível suplementares na corrente de gás no forno 52, que queimam na corrente de gás no forno são continuamente limpos de seus próprios produtos de combustão e contatados com gases do forno mistos para dar condições mais favoráveis para combustão e transferência de energia.

Com referência às Figuras 14 e 15, a injeção de ar de misturação de alta energia eficaz para conferir momento rotacional à corrente de gás no forno trabalha para dissipar camadas estratificadas produzidas, por exemplo, por calcinação do mineral no leito de mineral 22. Com a remoção ou dissipação dos estratos de dióxido de carbono mais densos, que normalmente, cobrem o leito de mineral 22 a energia radiante da corrente de gás no forno e das paredes cilíndricas 14 do vaso giratório 12 atinge o leito permitindo uma transferência de energia mais eficiente entre a corrente de gás no forno e o mineral em processo terminal (Ver a Figura 16).

Com referência às Figuras 17 até 20 que ilustram varias configurações de partes estacionárias de fornos pré-aquecedores/pré-calcinadores, há pontos indicados 70 para injeção de ar de alta pressão para as partes estacionárias a fim de criar, seja fluxo turbulento ou momento rotacional na corrente de gás que flui através de partes estacionárias. Assim o ar pode se injetado a alta pressão/energia, por exemplo, de um compressor, através de um ou mais bocais localizados nas paredes da parte estacionária de um forno pré-aquecedor/pré-calcinador para proporcionar energia de mistu-

ração com a conseqüente redução de poluentes associados com a estratificação e heterogeneidade de combustão localizada num tal equipamento pré-calcinador.

5 Numa modalidade da invenção, referindo-se às Figuras 21 e 22, a corrente de gás no forno é monitorada para o perfil/teores de emissões na ou próximo da extremidade 18 de saída do gás do vaso giratório 12 a fim de prover sinais característicos desse perfil de emissão para produção de um ou mais controladores para o forno incluindo um controlador de 10 injeção de ar ou controlador de injeção de ar e um controlador para vapor de injeção ou gás do tubo da caldeira à corrente de gás no forno dando estabilidade térmica à corrente de gás no forno.

15 Numa aplicação da presente invenção ilustrada na Figura 23, unidades injetoras de ar 31 estão posicionadas dentro de dois diâmetros do forno da extremidade de saída do gás 18 do vaso giratório 12 numa extremidade do forno pré-aquecedor/pré-calcinador. A temperatura da corrente de gás no forno no ponto de injeção de ar é de cerca de 2200°F a 20 cerca de 1800°F = 1204°C a cerca de 982,2°C. Combustível suplementar 58 é pulverizado do tubo de distribuição de combustível suplementar 60 ligado à fonte de combustível 62 a fim de criar condições redutoras na corrente de gás no forno misturado com ar de injeção de alta energia na extremidade 25 de saída de gás 18 do vaso giratório 12 a fim de efetuar a redução nas emissões de NO_x do forno pré-aquecedor/pré-calcinador.

Com referência às Figuras 24 - 27, varias configu-

rações de partes estacionárias 54 de fornos pré-aquecedores/pré-calcinadores estão ilustradas com pontos para injeção de ar com alta pressão para as partes estacionárias 54 criando mistura nas corrente de gás no forno, fluindo através daquelas partes estacionárias 54. Assim, o ar pode ser injetado a alta pressão, por exemplo, de um compressor, através de um ou mais pontos localizados nas paredes da parte estacionária 54 de qualquer forno pré-aquecedor/pré-calcinador dando momento de mistura do gás com consequente redução de poluentes, associado com estratificação e heterogeneidade de combustão localizada nesse equipamento pré-aquecedor/pré-calcinador.

Voltando à Figura 24a, a parte estacionária 54 compreende um vaso estacionário ou duto elevador 72 posicionado em proximidade da extremidade superior 18 do vaso giratório 12. Como tal, o vaso estacionário 72 é acoplado ao vaso giratório 12, tal que a corrente de gás no forno 76 flui para fora do vaso giratório 12 e para dentro do vaso estacionário 72. A corrente de gás no forno 76 flui de uma extremidade inferior 78 para uma extremidade superior 80 do vaso estacionário 72.

A parte estacionária 54 pode incluir uma zona de combustão secundária 82 que introduz ar de combustão pré-aquecida tal como ar terciário 84 via uma saída 85. A zona de combustão secundária 82 inclui o fluxo de ar terciário aquecido 84 a uma faixa de temperatura de cerca de 1400°F a cerca de 2000°F = 760°C - 1093°C, Neste local o fluxo de ar terciário aquecido 84 é introduzido à parte estacionária 54

par auxiliar na combustão dentro da parte estacionária 54. A parte estacionária 54 também pode incluir uma entrada para combustível 86 e conjunto de alimentação 88. A entrada de combustível 86 abre-se para a parte estacionária 54 através da qual o combustível, tal como carvão, pode ser introduzido à parte estacionária 54. O conjunto de alimentação 88 abre-se para a parte estacionária 54, através da qual a alimentação tal como mineral pode ser introduzida párea a parte estacionária 54. Para o forno pré-aquecedor/pré-calcinador, a parte estacionária 54, também pode incluir bocais propiciando gás contendo oxigênio, tipicamente ar de combustão pré-aquecido, adjacente à entrada de combustível 86 para promover distribuição de combustível fluindo através da entrada de combustível 86 e a alimentação que flui para a parte estacionária 543 via conjunto de alimentação 88.

A parte estacionária 54 também pode incluir um injetor 90 para introdução de uma quantidade de ar de alta pressão 92 ao vaso estacionário 72 como mostrado na Figura 24a. O injetor 90 pode ser incorporado como uma peça de tubo de aço de carbono 80 programado ligado a um compressor 91, que gera a quantidade de ar de alta pressão 92. Uma tal peça de tubo pode ser configurado com um ou mais orifícios através dos quais o ar de alta pressão flui para a parte estacionária. Numa modalidade, o injetor 90 está posicionado na metade superior do vaso estacionário 72. A quantidade de ar de alta pressão 92 pode compreender ar não aquecido ta como ar ambiente. Em outras palavras, este ar de alta pressão 92 não é aquecido pelo processo do forno antes de entrar na

parte estacionária 54. A quantidade de ar de alta pressão 92 emitida dos injetores 90 confere momento às correntes de gás no forno 76 a fim de dissipar quaisquer camadas estratificadas das correntes de gás no forno 76 que fluem da extremidade inferior 78 para a extremidade superior 80 do vaso estacionário 72. Como tal, a quantidade de ar de alta pressão 92 confere momento às correntes de gás do forno 76, que estão deixando o vaso giratório 12 e fluindo através da parte estacionária 54. Deve ser considerado que, embora apenas um único injetor 90 seja mostrado na Figura 24a, podem ser utilizados quantos injetores forem necessários.

Numa modalidade, o injetor 90 pode estar posicionado para introdução da quantidade de ar de alta pressão 92 o qual confere momento numa direção que é perpendicular em relação a direção de fluxo das correntes de gás no forno 76. Tal momento pode ser quantificado em relação à massa de gás e sólidos para misturação. Deve ser apreciado que, quanto maior for a relação de momento induzido para massa de gás a ser misturado, mais rápida será a misturação. Por exemplo, um vaso pré-calcinador ou duto operando a 2300 toneladas métricas por capacidade diária teria uma velocidade de fluxo de massa de cerca de 78 kg/segundo de sólidos e gás. Um único injetor 90 injeta 1,66 kg/segundos de ar 92 a uma velocidade de 248 m/segundos, conferindo assim, um vetor adicional de momento de 412 kg*/segundos. A relação de momento conferido adicional párea massa no vaso é de 5,28 kg*/m/seg. por kg do fluxo no calcinador (ou seja, por kg de gás e sólidos que ingressam no vaso calcinador).

De acordo com uma modalidade exemplar, o injetor 90 pode ser operado para introduzir uma quantidade de ar de alta pressão 92, tal que a relação momento resultante para massa fique entre 2,0 e 20,0 kg*/m/segundo por kg de gás e sólidos que ingressam no vaso calcinador. Numa modalidade exemplar mais específica, o injetor 90 pode ser operado para introduzir uma quantidade de ar de alta pressão 92, tal que a relação momento resultante para massa fique entre 4,0 e 10,0 kg*/m/segundo por kg de gás e sólidos que ingressam no vaso calcinador.

Numa modalidade, os injetores 90 podem introduzir a quantidade de ar de alta pressão 92 a uma pressão de cerca de 6 psi = 0,42 kg/cm². Numa outra modalidade os injetores 90 podem introduzir a quantidade de ar de alta pressão 92 a uma pressão de cerca de 6 psi a 12 psi = 0,42 kg/cm² - 0,84 kg/cm². Numa outra modalidade ainda, os injetores 90 podem introduzir a quantidade de ar de alta pressão 92 a uma pressão de cerca de 2 psi a 15 psi = 0,14 kg/cm² a 1,04 kg/cm². Ainda, numa modalidade, os injetores 90 podem introduzir a quantidade de ar de alta pressão a uma pressão de cerca de 2 psi a 100 psi = 0,14 kg/cm² - 7,030 kg/cm².

Numa modalidade, os injetores 90 podem introduzir a quantidade de ar de alta pressão 92 a uma velocidade de fluxo de massa de cerca de 1% a cerca de 5% a velocidade de fluxo de massa total da parte estacionária 54 (ou seja, a velocidade de fluxo da massa total dos sólidos e do gás que ingressam no vaso calcinador). Numa outra modalidade, os injetores 90 podem introduzir a quantidade de ar de alta

pressão 92 a uma velocidade de fluxo de massa de cerca de 2% da velocidade de fluxo de massa total da parte estacionária 54.

5 Numa modalidade, os injetores 90 podem ser posicionados para introdução de ar de alta pressão 92 que confere momento a um ângulo não perpendicular em relação à direção do fluxo da corrente de gás no forno 76 como se vê na Figura 24b. Além disso, embora dois injetores 90 sejam mostrados na Figura 24b, deve ser considerado que, apenas um
10 único injeto 90 pode ser utilizado. De modo inverso, mais de dois injetores também podem ser usados.

 Voltado à Figura 24cv, os injetores 90 podem também ser posicionados, com relação à direção do fluxo da corrente de gás no forno 76, a jusante da entrada de combustível 86 e conjunto de alimentação 88. Como tal, os injetores
15 90 são posicionados acima da entrada para combustível 86 e conjunto de alimentação 88. Os injetores 90 podem introduzir o ar de alta pressão 92 a uma posição a jusante da entrada de combustível 86 e conjunto de alimentação 88. Embora
20 dois injetores 90 estejam mostrados na Figura 24c, deve ser apreciado, que apenas um único injetor 90 pode ser usado. De modo inverso, mais de dois injetores também podem ser usados.

 Como se vê na Figura 24d, com relação à direção do
25 fluxo da corrente de gás no forno 76, através do vaso estacionário 72, o injetor 90 pode ser posicionado a jusante da entrada 85 do ar terciário 84 no vaso estacionário 782. Como tal, o injetor 90 está posicionado acima da entrada 85.

Desse modo, o injetor 90 introduz o ar de alta pressão 92 a uma posição a jusante da entrada 85 do ar terciário 84. Como se vê na Figura 24, o injetor 90 pode ser posicionado oposto à entrada terciária 85 de ar 84 de modo a introduzir a alta pressão 92 para conferir momento ao ar terciário 84. Deve ser apreciado que, embora apenas um único injetor 90 esteja mostrado nas modalidades da Figura 24d e Figura 25, qualquer número de injetores podem ser usados.

Voltado à Figura 26a, o conjunto de alimentação 88 está acoplado à parte estacionária 54 para avançar a alimentação 94 tal como mineral da parte estacionária 54, através do vaso estacionário 72 e para a extremidade superior 18 do vaso giratório 12. Com relação à direção do fluxo da alimentação 94 através do vaso estacionário 72, o injetor 90 pode ser posicionado a jusante do conjunto de alimentação 88. Nesta modalidade, o injetor 90 introduz a quantidade d ar de alta pressão 92 para conferir momento à alimentação 94 para facilitar a mistura da alimentação 94 com a corrente de gás do forno à medida que a alimentação 94 sai do conjunto de alimentação 88. Portanto, o injetor 90 introduz a quantidade de ar de alta pressão 92 a jusante da alimentação 94 à medida que a alimentação 94 avança da parte estacionária 54 para a extremidade superior 18 do vaso giratório 12. Deve-se considerar que, embora apenas um único injetor 90 esteja mostrado na Figura 26a, qualquer número de injetores podem ser usados.

Como se vê na Figura 26b, o injetor 90 pode ser posicionado dentro do conjunto de alimentação 88, de modo a

conferir momento através do ar de alta pressão 92 à alimentação 94 como a alimentação 94 passa através do conjunto de alimentação 88 e para o vaso estacionário 72. Deve ser apreciado que, embora apenas um único injetor 90 esteja mostrado na Figura 26b, qualquer número de injetores podem ser usados.

Voltado agora à Figura 27, o injetor 90 pode ser posicionado sem oposição à entrada da alimentação 86. nesta modalidade, o injetor 90 introduz ar de alta pressão 92 para conferir momento ao combustível para facilitar a mistura do combustível quando este sai da entrada de combustível 86. Embora apenas um único injetor 90 esteja mostrado na Figura 27, qualquer número de injetores podem ser usados.

A despeito da configuração da parte estacionária 54, e da colocação dos injetores 90, os injetores 90 introduzem a quantidade de ar de alta pressão 92 ao vaso estacionário 72 para facilitar a misturação em seção transversal das correntes de gás no forno 76 e/ou da introdução 94. Como tal, os injetores 90 introduzem a quantidade de ar de alta pressão 92 a fim de promover a mistura do fluxo tal como um fluxo turbulento, rotacional ou ciclônico no vaso estacionário 72.

EXEMPLO 1

FORNO DE CALCÁRIO DE COMBUSTÃO EM ETAPAS

A combustão em etapas pode ser realizada por meios diversos. Por exemplo, um forno está operando com cerca de zero a 5% de ar em excesso necessário para combustão. Neste nível de ar em excesso, algum monóxido de carbono resi-

dual e dióxido de enxofre são produzidos. Mais redução do ar em excesso para a zona de combustão a fim de reduzir a formação de óxidos de nitrogênio resultaria numa emissão indesejável de monóxido de carbono e dióxido de enxofre e perda da eficiência térmica devido à combustão incompleta do combustível. Instalando-se o aparelho da invenção e injeção de 10% do ar de combustão total ao processo, o ar disponível na zona de combustão primária seria insuficiente para combustão completa do combustível e os gases que deixam esta zona teria concentrações significativas de monóxido de carbono e outras espécies que são produtos da combustão incompleta. Óxidos de nitrogênio são reduzidos mesmo se a zona de combustão primária permanecer a alta temperatura visto os produtos da combustão incompleta, preferivelmente retiram o oxigênio disponível ou podem até mesmo retirar o oxigênio do óxido de nitrogênio.

Visto o fluxo de ar total permanecer a 100-105% daquele necessário para combustão, a injeção de 10% na parte mediana do forno, resulta em apenas 90-95% do ar de combustão necessário na zona de combustão primária. O ar adicional é injetado a uma zona de temperatura do forno, onde ainda é suficientemente quente para a combustão rápida e completa quando o oxigênio disponível torna-se disponível embora não tão quente para formar óxidos de nitrogênio. Os 10% do ar de combustão são injetados com suficiente energia para misturar a seção transversal do gás de combustão no forno. Isto resulta em 0-5% de ar em excesso daquele necessário para combustão, o que irá minimizar o monóxido de

carbono e dióxido de enxofre residual. Esta zona de mistura não está a uma temperatura tão alta quanto a zona de combustão primária, portanto os óxidos de nitrogênio não são formados, mesmo se agora exista oxigênio em excesso nesta
5 zona.

EXEMPLO 2

O uso de ar de misturação para melhorar a eficiência de combustão está descrito na Patente U.S. nº 5.632.616, que reivindica o uso de ar de misturação em conjunto com
10 queima na parte média do forno. O uso de injeção tangencial de ar de alta energia para criar um componente rotacional do volume de gás no forno intensifica a misturação da eficácia de ar quando a injeção ocorre a montante do ponto de injeção do combustível.

15 EXEMPLO 3

O conceito do ar de misturação foi desenvolvido como resultado da identificação da estratificação dos gases no forno. O dióxido de carbono mais pesado e os gases da pirólise do combustível na parte média do forno permanecerão
20 estratificados no fundo do forno e os gases de alta temperatura contendo oxigênio são estratificados no topo.

A misturação em seção transversal obtida pelo método de injeção do ar de misturação permite a queima total dos produtos residuais da combustão incompleta, quando o
25 dispositivo é colocado a jusante (ascendente) do ponto de injeção de combustível. Para redução do óxido de nitrogênio, é essencial haver também a mistura em seção transversal dos gases quando estes ainda estão destituídos de oxigênio.

Portanto o sistema de ar de mistura é instalado a montante(em declive) do ponto de combustão mediano do forno a fim de conferir um momento rotacional aos gases do forno, para misturar a enfumação do combustível para combustão e pirólise através dos gases do forno.

O sistema ideal de forno seriam dois sistemas de injeção de ar, um a montante da injeção de combustível na parte media do forno para dar misturação transversal, enquanto os gases do forno ainda estão destituídos de oxigênio, e um outro a jusante para dar misturação em seção transversal com o ar injetado para conferir queima total de quaisquer produtos residuais da combustão incompleta.

Os exemplos sugerem que, o ar de combustão é 5% menos do que aquele suficiente para a combustão completa na zona de redução. Na prática, seria de se esperar que a aquisição de apenas 1 ou 2% de deficiência no ar de combustão seria suficiente para controlar emissões de oxido de nitrogênio.

EXEMPLO 4

O emprego de uma pequena quantidade de ar de alta pressão injetado para beneficiar a misturação também pode ser aplicada aos fornos de cimento pré-calcinadores. Fornos de cimento pré-calcinadores utilizam a queima secundária e podem ser modificados para introdução de algum ar de combustão após a zona de queima secundária, a fim de criar combustão em etapas. Contudo, tais modificações tem alto custo . Além disso, devido à energia necessária para deslocar os gases de combustão através de um forno pré-calcinador,

esses sistemas são projetados a operar com quedas de baixa pressão. Assim, os sistemas não são projetados par otimizar a mistura e uso de tempos de longa retenção para dar adequada misturação. O desempenho desses sistemas de forno poderiam ser beneficiados por introdução de energia por meio de ar de misturação a alta velocidade (pressão). Pressões de cerca de 4 psi a 150 psi = 0,281 kg/cm² - 10,54 kg/cm², mais tipicamente cerca de 40 a 100 psi = 2,81 kg/cm² - 7,030 kg/cm² poderiam ser usadas para introduzir quantidades significativas de energia a fim de criar uma boa misturação num curto tempo. Com as pressões muito altas, a introdução de energia pode ser conseguida com apenas um percentual menor do ar de combustão total (1% a 5%). centenas de cavalos-força de energia poderiam ser colocados em mistura sem aumentar a queda de pressão global do sistema pré-calcinador. As quantidades de ar necessárias são mantidas no limite de modo a minimizar a quantidade de ar deslocado do recuperador de calor. O aumento da eficiência de misturação pode aumentar a eficiência de combustão e permitir a redução do ar em excesso necessária aos desejados níveis de monóxido de carbono residuais. Esta redução em ar excessivo global, e o ar em excesso reduzido pela substituição após a zona de combustão primária, resulta me menos oxigênio disponível na zona de combustão, o que irá favorecer a formação mínima de oxido de nitrogênio. Com o aumento substituição do ar de misturação, a zona de combustão primária poderia tornar-se sub-estequiométrica, resultando numa atmosfera que, destruiria, favoravelmente, óxidos de nitrogênio produzidos em fornos

giratórios de alta temperatura passando através do pré-calcinador.

EFEITO DO AR DE MISTURAÇÃO NO PROCESSO

Os gases no interior de um forno de calcinação, sal altamente estratificados, devido à temperatura, resultando em diferenças de densidade entre os gases de combustão e os gases sendo liberados do mineral no processo. Como resultado, não há contato direto dos gases de combustão quentes com o leito do mineral. A transferência térmica ocorre indiretamente pelos gases quentes que aquecem as paredes do forno e as paredes quentes são giradas sob o leito do mineral à medida que o forno gira. Poderá haver também radiação dos gases quentes ao leito do mineral, porém este mecanismo torna-se secundário à medida que o gás de combustão resfria das temperaturas de pico na zona de combustão primária. A injeção de ar de alta pressão num modo que confere um momento rotacional aos gases no forno adicionará um outro mecanismo de transferência térmica ao forno de calcinação, porque isto fará com que os gases de combustão quentes que estejam passando ao longo do topo do forno desçam para contato com o leito do mineral. Este mecanismo adicional de transferência térmica servirá para melhorar a eficiência térmica do dispositivo de calcinação.

A injeção de ar ambiental ao forno no processo médio desloca ar oriundo do recuperador de calor que recupera calor no produto descarregado para o ar de combustão. A redução no ar do recuperador de calor pode afetar a eficiência desta recuperação térmica, portanto é desejável minimizar a

quantidade de ar em mistura adicionado ao processo médio. Isto requer que o ar de misturação seja injetado a alta pressão de modo que tenha suficiente energia cinética para conferir um componente rotacional aos volume de gases no
5 forno.

FALHA DE COMBUSTÍVEL DE AR DE ALTA ENERGIA
ESGUICHADO EM UM FORNO PRÉ-CALCINADOR

Acredita-se de modo geral, que as injeções de ar não aquecido ao processo de cimento a jusante do ventilador
10 e o resultante deslocamento de ar do ventilador resultará em inaceitável perda de recuperação de calor. Em exame de cálculos mais exatos revelou-se que tal perda de recuperação de calor é mínima, especialmente, em virtude dos benéficos de misturação dos gases do processo em zonas de alta temperatura. Os cálculos mostram que, caso 10% do ar de combustão
15 teóricos seja introduzido com alta energia ao forno giratório, o deslocamento de uma correspondente massa de ar pré-aquecido resultará numa redução da recuperação de calor do ventilador inferior a 2% da entrada de energia total. O ga-
20 nho de potencial na eficiência do processo devido à eliminação de estratificação pode ser maior do que a compensação desta perda de calor.

QUEIMA DE PNEUS NUM FORNO DE PRÉ-CALCINAÇÃO

Pneus inteiros podem ser introduzidos na calha de
25 alimentação ou lançados com suficiente momento para que rodem na extremidade superior do forno no vaso giratório. A velocidade de queima dos pneus numa zona de queima secundária na extremidade superior do vaso giratório de um forno

pré-calcinador e limitada pelo requisito de redução do combustível no queimador principal por uma quantidade correspondente. O aumento resultante na relação ar-para-combustível resulta num resfriamento da chama principal e inadequadas temperaturas de chama ocorrem a uma velocidade de substituição a 20%. Outros problemas ocorrem como resultado da estratificação dos gases na saída do forno. Os pneus ficam no fundo do vaso do forno, onde existe oxigênio inadequado para combustão completa. Como resultado, o gás rico em combustível ingressa na camada de entrada acima da parte de alimentação onde ocorre alguma mistura com os gases contendo oxigênio do topo do forno. A combustão resultante na cama de entrada cria altas temperaturas localizadas e resulta em acúmulos inaceitáveis na entrada da câmara.

Com o uso de jatos de ar de alta energia introduzido até cerca de 10% do ar de combustão com um momento rotacional próximo da extremidade superior do vaso giratório, a velocidade de substituição de todos os pneus pode ser aumentada em 30% do combustível do forno sem temperatura de chama principal inaceitável ou acúmulos. Além disso, a mistura a jato de ar produz uma distribuição mais uniforme dos gases de oxigênio reduzidos criados pelos pneus em combustão para promover redução de NO_x mais eficaz. O beneficiamento na mistura dos gases do forno minimiza o potencial de acúmulo inaceitável na câmara de entrada.

INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL POLYSIUS NA SAÍDA DO PRÉ-CALCINADOR PARA CONTROLE DE NO_x

Um método de destruir o NO_x gerado na zona de alta temperatura de um forno de processamento de mineral é produzir uma zona sub-estequiométrica a uma temperatura de 1800 a $2500^\circ\text{F} = 982,2^\circ\text{C} - 1371^\circ\text{C}$ em algum ponto a jusante. Isto pode ser feito convenientemente, por introdução de um combustível de hidrocarboneto na saída do forno conforme descrito por Polysius. Uma limitação desta técnica consiste no fato de que os gases de saída do forno são altamente estratificados. Os gases no topo do forno são mais quentes e com teor de oxigênio maior, e os gases que atravessam ao longo do fundo do forno são mais frios e enriquecidos com dióxido de carbono do carbonato de cálcio residual no meio quente que ingressa no forno, e, possivelmente rico em monóxido de carbono de qualquer carbono introduzido do pré-calcinador.

A função do combustível injetado pode ser intensificada por aquisição de uma distribuição uniforme da zona de redução na seção transversal do duto. Injetando-se energia de misturação por meio de jatos de ar no forno giratório para romper a estratificação no forno giratório, tem-se uma composição de gás mais uniforme para a zona de redução. Além disso, a misturação do combustível injetado e a resultante zona de redução podem ser conseguidas por uso de jatos de injeção de ar de alta energia adicionais na parte estacionária do forno, próxima da extremidade de saída do gás do vaso giratório (Ver Figura 23).

BENEFICIAMENTO DA TRANSFERÊNCIA TÉRMICA NUM FORNO GIRATÓRIO

Exemplo de Caieira

Os gases na zona de calcinação de uma caeira são altamente estratificados. Num forno de 12' de diâmetro (11'I.D). a velocidade do gás através do forno é tipicamente de 30 a 50 pés/segundo = 9,144 m/minutos - 15,24 m/minutos, a temperatura do gás sobre o leito de calcário de calcinação fica entre 1800°F a 4000°F = 982,2°C a 2204°C e o leito de calcário e o dióxido de carbono liberado (peso molecular de 44 versus gases de combustão de 29) estão a uma temperatura de calcinação de 1560°F (~850°C). Como resultado da grande diferença de densidade entre os gases de combustão quentes e o dióxido de carbono liberado, o leito de mineral permanece abrigado numa manta de dióxido de carbono. a transferência térmica ocorre por radiação e pela parede do forno aquecida sendo girada sob o leito do mineral.

Um jato de alta energia que introduz um componente rotacional à velocidade do gás no forno resulta na camada de dióxido de carbono sendo obliterada do material de calcinação. Isto permite o contato direto dos gases de combustão quentes com o leito do mineral. Devido a maior área superficial agora disponível e a maiores diferenças de temperatura entre os gases de combustão e o mineral em processamento (se comparado com a parede do forno) a velocidade de transferência térmica é aumentada.

Esses jatos de alta energia rompem a estratificação que foi formada e o componente rotacional induzido pelos jatos previne a nova formação da camada estratificada.

Pelo manter os gases do forno contendo oxigênio, quentes em contato com o leito do mineral, os componentes de

combustível no leito que, estavam antes protegidos com uma manta de dióxido de carbono, são agora capazes de comburir. Esses componentes combustíveis podem ocorrer naturalmente no mineral sendo processado, ou podem ser um resultado do combustível sólido introduzido para proporcionar energia ao processo.

Há inúmeros benefícios que podem ser mantidos pelo processo, rompendo-se a estratificação intrínseca em leitos de mineral nos fornos giratórios.

10 APLICAÇÃO DE AR DE MISTURA PRECEDENTE - REDUÇÃO DE NO_x E DESTRUIÇÃO POR INJEÇÃO DE AR A JUSANTE DA ZONA DE QUEIMA SECUNDÁRIA

A redução de NO_x num forno de cimento a seco ou úmido longitudinal, foi realizada com sucesso usando-se uma zona de queima secundária no forno médio. Cerca de 10 anos atrás a tecnologia de injeção de combustível ao forno médio foi primeiro realizada para permitir que um forno de cimento queime material de despejo sólidos carregados de energia tais como pneus inteiros. Um dos benefícios laterais desta tecnologia era uma redução de 30% aproximados nas emissões de NO_x.

AS emissões de NO_x são o resultado do processo de combustão usado na produção do cimento. As altas temperaturas e condições de oxidação necessárias para produzir o cimento também formam óxidos de nitrogênio. Conseqüentemente, embora o forno esteja operando ele produzirá algum nível de NO_x. O nível de NO_x formado é dependente de muitos fatores, porém estes são previsíveis. Dentro de cada forno, aumentos

e diminuições nos níveis de emissão de NO_x são tipicamente relacionados com a elevação e queda na temperatura da zona de queimação. A maioria do NO_x é formado de um dentre dois diferentes mecanismos dentro da zona de queima. O primeiro é a oxidação a alta temperatura do nitrogênio atmosférico, e o segundo é a oxidação dos compostos dotados de nitrogênio no combustível. A maior parte das emissões de NO_x de um forno de cimento são NO_x térmico. Em geral, o NO_x térmico é formado pela oxidação direta do nitrogênio atmosférico a temperaturas muito altas. Esta reação é muito sensível a temperatura. Quando a temperatura aumenta, a velocidade de reação também aumenta. A segunda fonte de emissões de NO_x são compostos contendo nitrogênio no combustível. O carvão típico contém aproximadamente 1,5% de nitrogênio por peso. Esses compostos passam por uma série complexa de reações, que resulta numa parte deste nitrogênio sendo convertido em NO_x . Este conjunto de reações é coerente por todo o processo de combustão e não é afetado pela temperatura. Chamas ricas em combustível tendem a diminuir a produção de NO_x do combustível e chamas ricas em oxigênio tendem a aumentar ou favorecer a produção de NO_x no combustível. Na zona de queimação de um forno onde as condições de oxidação são necessárias para adequada mineralogia do clínquer, o processo de combustão favorece a produção do NO_x do combustível. Existem outros mecanismos que produzem NO_x . Normalmente seus efeitos são relativamente insignificantes comparado com o NO_x térmico e do combustível.

O sistema de injeção de combustível no forno médio

possui um histórico provado de proporcionar redução significativa de NO_x num forno de cimento a seco ou úmido longitudinal. Esse sistema tem a vantagem da tecnologia reconhecida da combustão por etapas, no fato de que uma parte do combustível é queimado numa zona de combustão secundária que está próxima do meio do forno a seco ou a úmido longitudinal. Após analisar os efeitos da injeção de combustível na parte média do forno em um forno de cimento, determinou-se que, ele tem um efeito direto no mecanismo de formação de NO_x térmico. Ele baixa a temperatura da chama de pico, o que diminui a velocidade de emissão de NO_x e, além disso, existe a oportunidade para nova queima do NO_x criado na zona de alta temperatura do forno, na zona de combustão secundária de temperatura menor.

Nesta invenção, injeção de aproximadamente 10% do ar de combustão total através de um bocal, preferivelmente um que tenha um orifício com uma relação de aspecto maior que um, à jusante do forno da zona de queimação secundária. A alta velocidade (de uma fonte de pressurização capaz de proporcionar um diferencial de pressão estática de pelo menos 0,15 atm = 15,20 kPa, mais preferivelmente pelo menos 0,20 atm = 20,26 kPa) e a um ângulo ao fluxo de gás do forno a fim de conferir um componente rotacional aos gases do forno. Este componente rotacional propicia misturação transversal muito melhor ao forno. Por mistura dos gases do forno, são produzidas melhor combustão e menores emissões. A injeção de ar de mistura afeta NO_x alterando a dinâmica do fluxo de ar dentro do forno. Por adição do ar de mistu-

ração a jusante do fluxo de ar do ponto de entrada de combustível na parte média do forno, a proporção de ar em excesso entre a chama principal e o ventilador de ar de misturação pode ser alterada. Neste exemplo, o combustível da

5 parte média do forno agora utiliza o ar em excesso restante após a queima primária, e pelo ponto de entrada de combustível no meio do forno, não há ar em excesso no forno. Esta situação proporciona agora a oportunidade para destituição química de NO_x . O ar de misturação então adiciona 10% de

10 excesso de ar de volta ao forno para a oportuna oxidação de nova queima dos produtos residuais da combustão incompleta.

02079 90489 32

P106/1031-2

REIVINDICAÇÕES

1. Método de operar um forno pré-aquecedor/pré-calcinador com um vaso giratório inclinado e uma parte estacionária acoplada ao vaso giratório inclinado, em que uma
5 corrente de gás do forno fluir numa direção do vaso giratório inclinado e através da parte estacionária, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende as etapas de:

avançar mineral da parte estacionária para uma extremidade superior do vaso giratório inclinado;

10 avançar mineral da extremidade superior do vaso giratório inclinado para uma extremidade inferior do vaso giratório inclinado;

introduzir uma quantidade de ar de combustão e combustível através da extremidade inferior do vaso giratório inclinado; e
15

introduzir uma quantidade de ar de alta pressão para a parte estacionária, onde a quantidade de ar de alta pressão confere momento à corrente de gás do forno a uma relação entre 2 e 20 kg*m/seg por kg de gás e sólidos que ingressam na parte estacionária.
20

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a introdução da quantidade de ar de alta pressão na parte estacionária compreende conferir momento à corrente de gás no forno a uma relação entre 4 e
25 10 kg*m/segundo por kg de gás e sólidos que ingressam na parte estacionária.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pela introdução da quantidade de ar de alta

pressão na parte estacionária compreender a introdução da quantidade de ar de alta pressão numa direção que é substancialmente perpendicular à direção do fluxo da corrente de gás no forno.

5 4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pela introdução da quantidade de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução da quantidade de ar de alta pressão numa posição que está a jusante de um local em que o mineral é introduzido na parte
10 estacionária.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pela introdução da quantidade de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução de uma quantidade de ar não aquecido de alta pressão.

15 6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pela introdução da quantidade de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução da quantidade de ar de alta pressão a uma velocidade de fluxo de massa de cerca de 1% a cerca de 5% da velocidade do fluxo
20 de massa total de gás e sólidos que ingressam na parte estacionária.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pela introdução da quantidade de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução da
25 quantidade de ar de alta pressão a uma velocidade de fluxo de massa de cerca de 2% da velocidade do fluxo de massa total de gás e sólidos que ingressam na parte estacionária.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pela etapa de introdução de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução de ar de alta pressão a uma pressão de cerca de 2 psi a cerca de 100 psi =
5 0,14 kg/cm² a 7,03 kg/cm² .

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pela etapa de introdução de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução de ar de alta pressão a uma pressão de cerca de 2 psi a cerca de 15 psi =
10 0,14 kg/cm² a 1,04 kg/cm² .

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pela etapa de introdução de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução de ar de alta pressão a uma pressão de cerca de 6 psi a cerca de 12 psi =
15 0,42 kg/cm² a 0,84 kg/cm² .

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pela etapa de introdução da quantidade de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução da quantidade de ar de alta pressão a uma pressão de
20 cerca de 6 psi = 0,42 kg/cm².

12. Método de operar um forno com um vaso giratório inclinado e uma parte estacionária acoplada ao vaso giratório inclinado, uma corrente de gás do forno fluir numa direção do vaso giratório inclinado e através da parte estacionária, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende as etapas de:
25

avançar mineral da parte estacionária para uma extremidade superior do vaso giratório inclinado;

avançar mineral da extremidade superior do vaso giratório inclinado para uma extremidade inferior do vaso giratório inclinado;

introduzir ar de combustão e combustível através
5 da extremidade inferior do vaso giratório inclinado; e

introduzir uma quantidade de ar de alta pressão na parte estacionária, a uma velocidade de fluxo de massa de cerca de 1% a cerca de 5% da velocidade do fluxo de massa total do gás e dos sólidos que ingressam na parte estacionária, a fim de conferir momento à corrente dos gases no forno fluindo através da parte estacionária.
10

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pela introdução da quantidade de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução da
15 quantidade de ar de alta pressão a uma velocidade de fluxo de massa de cerca de 2% da velocidade do fluxo de massa total de gás e sólidos que ingressam na parte estacionária.

14. Método, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pela etapa de introdução de ar de alta pressão
20 na parte estacionária compreender a introdução de ar de alta pressão a uma pressão de cerca de 2 psi a cerca de 100 psi = 0,14 kg/cm² a 7,03 kg/cm².

15. Método, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pela etapa de introdução de ar de alta pressão
25 na parte estacionária compreender a introdução de ar de alta pressão a uma pressão de cerca de 2 psi a cerca de 15 psi = 0,14 kg/cm² a 1,04 kg/cm².

16. Método, de acordo com a reivindicação 12,

CARACTERIZADO pela etapa de introdução de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução de ar de alta pressão a uma pressão de cerca de 6 psi a cerca de 12 psi = 0,42 kg/cm² a 0,84 kg/cm².

5 17. Método, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pela etapa de introdução da quantidade de ar de alta pressão na parte estacionária compreender a introdução da quantidade de ar de alta pressão a uma pressão de cerca de 6 psi = 0,42 kg/cm².

10 18. Forno de processamento de mineral, **CARACTERIZADO** por compreender:

um vaso giratório inclinado com uma extremidade inferior e uma extremidade superior,

15 um pré-aquecedor/pré-calcinador posicionado próximo da extremidade superior do vaso giratório, o pré-aquecedor/pré-calcinador incluindo (i) um vaso estacionário e (ii) um injetor que opera para introduzir uma quantidade de ar de alta pressão a uma pressão de cerca de 2 psi a cerca de 100 psi = 0,14kg/cm² a 7,03 kg/cm² no vaso estacionário, e
20

um conjunto de alimentação operável para avançar mineral para a extremidade superior do vaso giratório tal que o mineral passe através do vaso estacionário antes de avançar para o vaso giratório inclinado.

25 19. Forno de processamento de mineral, de acordo com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** pelo injetor ser posicionado para introduzir a quantidade de ar de alta pressão numa direção que é perpendicular ao vaso estacionário.

20. Forno de processamento de mineral, de acordo com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** pelo fato do vaso estacionário ter uma entrada de ar terciária, e

o injetor ficar posicionado para introduzir a
5 quantidade de ar de alta pressão num local no vaso estacionário acima da entrada de ar terciária.

21. Forno de processamento de mineral, de acordo com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** pelo injetor ser operável para introduzir a quantidade de ar de alta pressão no
10 vaso estacionário num modo que confere momento numa corrente de gás no forno fluindo através do vaso estacionário a uma relação entre 1 e 10 kg*/m.segundos por kg de gás e sólidos que ingressam no vaso estacionário.

22. Forno de processamento de mineral, de acordo
15 com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** pelo injetor ser posicionado para introduzir a quantidade de ar de alta pressão num local no vaso estacionário abaixo do conjunto de alimentação.

23. Forno de processamento de mineral, de acordo
20 com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** pelo injetor ser posicionado para introduzir a quantidade de ar de alta pressão num local no vaso estacionário acima do conjunto de alimentação.

24. Forno de processamento de mineral, de acordo
25 com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** pelo injetor ser posicionado dentro do conjunto de alimentação.

25. Forno de processamento de mineral, de acordo com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** pelo vaso estacionário

ter uma entrada de combustível, e

o injetor ser posicionado para introduzir a quantidade de ar de alta pressão num local no vaso estacionário acima da entrada de ar do combustível.

5 26. Método de operar um forno de processamento de mineral, **CARACTERIZADO** por compreender as etapas de:

avançar o mineral de um vaso do pré-calcinador estacionário para uma extremidade superior de um vaso giratório inclinado,

10 avançar o mineral da extremidade superior do vaso giratório inclinado para uma extremidade inferior do vaso giratório inclinado,

operar um queimador primário localizado na extremidade inferior do vaso giratório inclinado para gerar uma
15 corrente de gás no forno que flui através do vaso giratório inclinado, através do vaso do estacionário, e para uma série de ciclones, e

injetar ar comprimido ao vaso do pré-calcinador para conferir momento à corrente de gás no forno que avança
20 através do mesmo.

27. Método, de acordo com a reivindicação 26, **CARACTERIZADO** pela etapa de injeção compreender injetar ar comprimido não aquecido para o vaso do pré-calcinador.

28. Método, de acordo com a reivindicação 26,
25 **CARACTERIZADO** pela etapa de injeção compreender injetar ar comprimido através de um bocal localizado numa parede do vaso do pré-calcinador.

29. Método, de acordo com a reivindicação 26,

CARACTERIZADO pela etapa de injeção compreender injetar ar comprimido de um compressor para o vaso do pré-calcinador.

30. Método, de acordo com a reivindicação 26, **CARACTERIZADO** pela etapa de injeção compreender injetar ar comprimido numa direção que é substancialmente perpendicular à direção de fluxo da corrente de gás no forno.

31. Método, de acordo com a reivindicação 26, **CARACTERIZADO** pelo fato do vaso do pré-calcinador compreender uma entrada de ar terciária, e

10 a etapa de injeção compreender injetar ar comprimido ao vaso do pré-calcinador num local que está a jusante, em relação à direção de fluxo da corrente de gás no forno, da entrada de ar terciária.

32. Método, de acordo com a reivindicação 26, 15 **CARACTERIZADO** pelo fato do vaso do pré-calcinador compreender uma entrada para combustível, e

a etapa de injeção compreender injetar ar comprimido ao vaso do pré-calcinador num local que está a jusante, em relação à direção de fluxo da corrente de gás no forno, 20 da entrada para combustível.

33. Método, de acordo com a reivindicação 26, **CARACTERIZADO** pelo fato do vaso do pré-calcinador compreender uma entrada de alimentação, e

a etapa de injeção compreender injetar ar comprimido ao vaso do pré-calcinador num local que está a jusante, 25 em relação à direção de fluxo da corrente de gás no forno, da entrada de alimentação.

34. Método, de acordo com a reivindicação 26,

CARACTERIZADO pelo fato do vaso do pré-calcinador compreender uma entrada de alimentação, e

a etapa de injeção compreender injetar ar comprimido ao vaso do pré-calcinador num local que está a montante, em relação à direção de fluxo da corrente de gás no forno, da entrada de alimentação.

35. Método, de acordo com a reivindicação 26, **CARACTERIZADO** pela etapa de injeção compreender injetar ar comprimido ao vaso do pré-calcinador para conferir momento rotacional à corrente de gás no forno que avança pelo mesmo.

36. Forno de processamento de mineral, **CARACTERIZADO** por compreender:

um vaso giratório inclinado com uma extremidade inferior e uma extremidade superior,

15 um vaso do pré-calcinador estacionário posicionado próximo da extremidade superior do vaso giratório, tendo o vaso do pré-calcinador uma parede,

um bocal localizado na parede do vaso do pré-calcinador, e

20 um compressor de ar acoplado no modo fluido ao bocal, sendo o compressor de ar operável para gerar e fornecer uma quantidade de ar comprimido ao vaso do pré-calcinador através do bocal.

37. Forno de processamento de mineral, de acordo com a reivindicação 36, **CARACTERIZADO** por compreender:

um queimador primário localizado na extremidade inferior do vaso giratório inclinado, o queimador primário sendo operável para gerar uma corrente de gás no forno que

flui através do vaso giratório inclinado e através do vaso do pré-calcinador estacionário,

onde o compressor é operável para fornecer a quantidade de ar comprimido ao vaso do pré-calcinador num modo
5 suficiente para conferir momento rotacional à corrente de gás no forno que avança através do mesmo.

38. Forno de processamento de mineral, de acordo com a reivindicação 36, **CARACTERIZADO** por compreender:

um queimador primário localizado na extremidade
10 inferior do vaso giratório inclinado, o queimador primário sendo operável para gerar uma corrente de gás no forno que flui através do vaso giratório inclinado e através do vaso do pré-calcinador estacionário,

onde o bocal está posicionado para fornecer a
15 quantidade de ar comprimido ao vaso do pré-calcinador numa direção que é substancialmente perpendicular a direção de fluxo da corrente de gás no forno.

39. Forno de processamento de mineral, de acordo com a reivindicação 36, **CARACTERIZADO** pelo fato do vaso do
20 pré-calcinador compreender uma entrada de ar terciária, e

o bocal ficar posicionado num local que está a jusante, em relação a uma direção de fluxo de uma corrente de gás no forno através do vaso do pré-calcinador, da entrada de ar terciária.

25 40. Forno de processamento de mineral, de acordo com a reivindicação 36, **CARACTERIZADO** pelo fato do vaso do pré-calcinador compreender uma entrada para combustível, e

o bocal ficar posicionado num local que está a

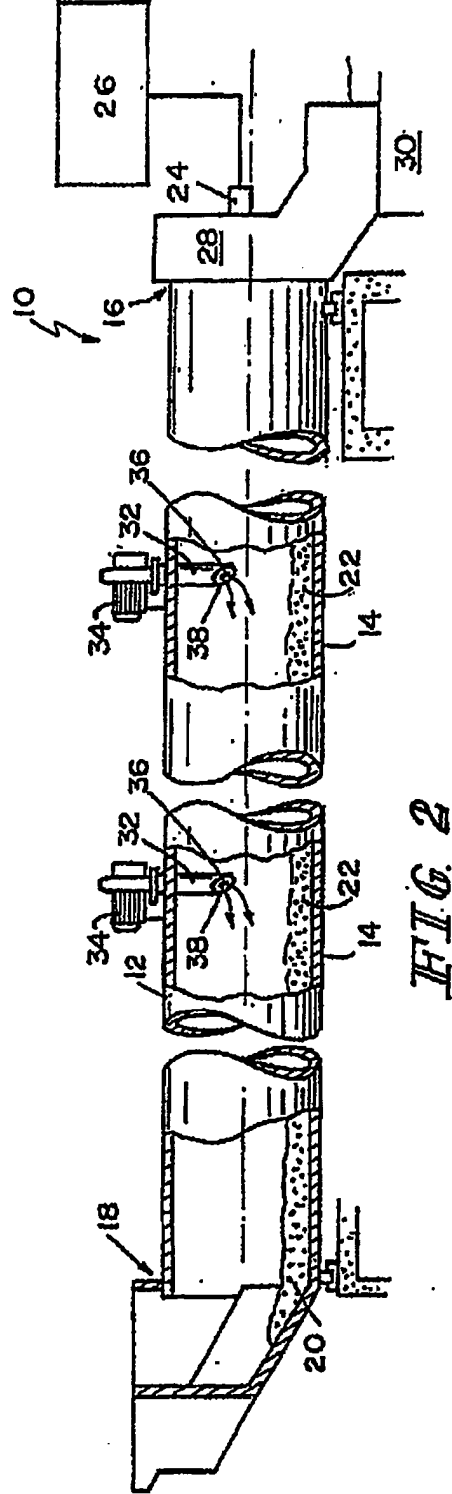
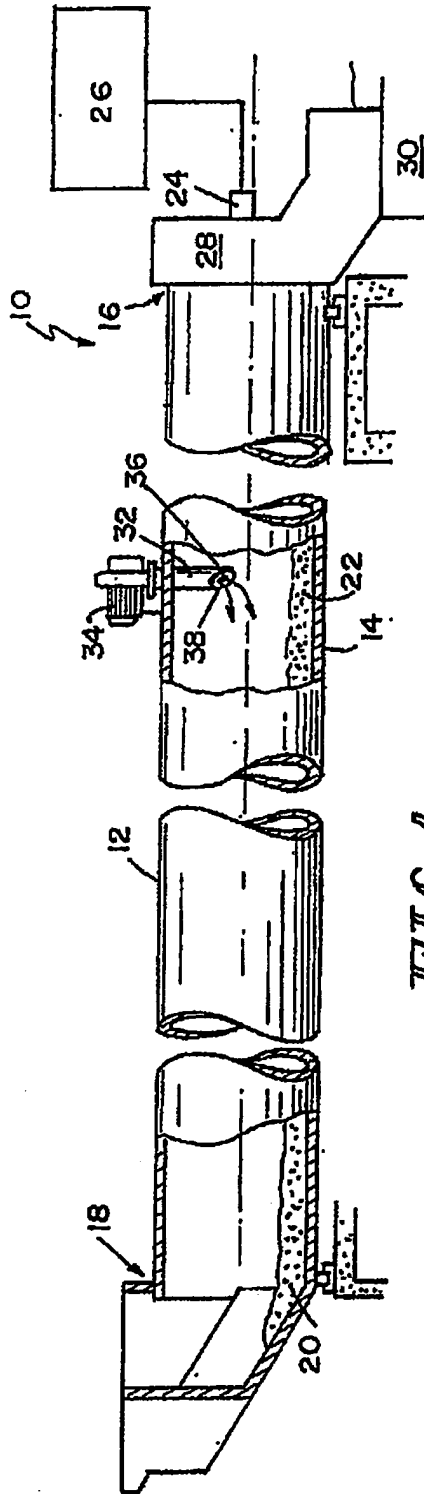
jusante, em relação a uma direção de fluxo de uma corrente de gás no forno através do vaso do pré-calcinador, da entrada para combustível.

41. Forno de processamento de mineral, de acordo
5 com a reivindicação 36, **CARACTERIZADO** pelo fato do vaso do pré-calcinador compreender uma entrada de alimentação, e

o bocal ficar posicionado num local que está a
jusante, em relação a uma direção de fluxo de uma corrente de gás no forno através do vaso do pré-calcinador, da entrada
10 da de alimentação.

42. Forno de processamento de mineral, de acordo com a reivindicação 36, **CARACTERIZADO** pelo fato do forno pré-calcinador compreender uma entrada para alimentação, e

o bocal ficar posicionado num local que está a
15 montante, em relação a uma direção de fluxo de uma corrente de gás no forno através do vaso do pré-calcinador, da entrada de alimentação.



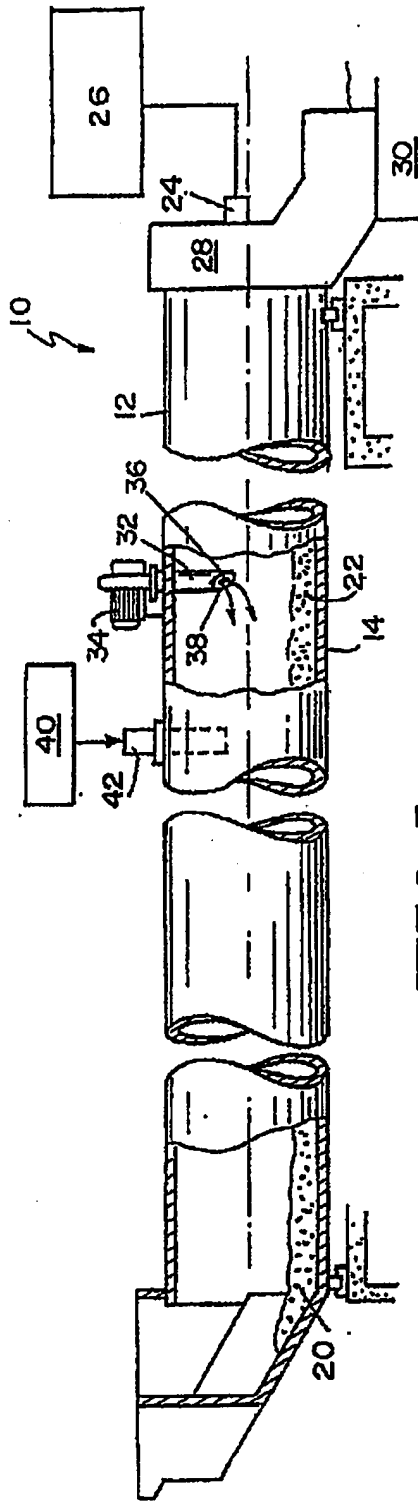


FIG. 3

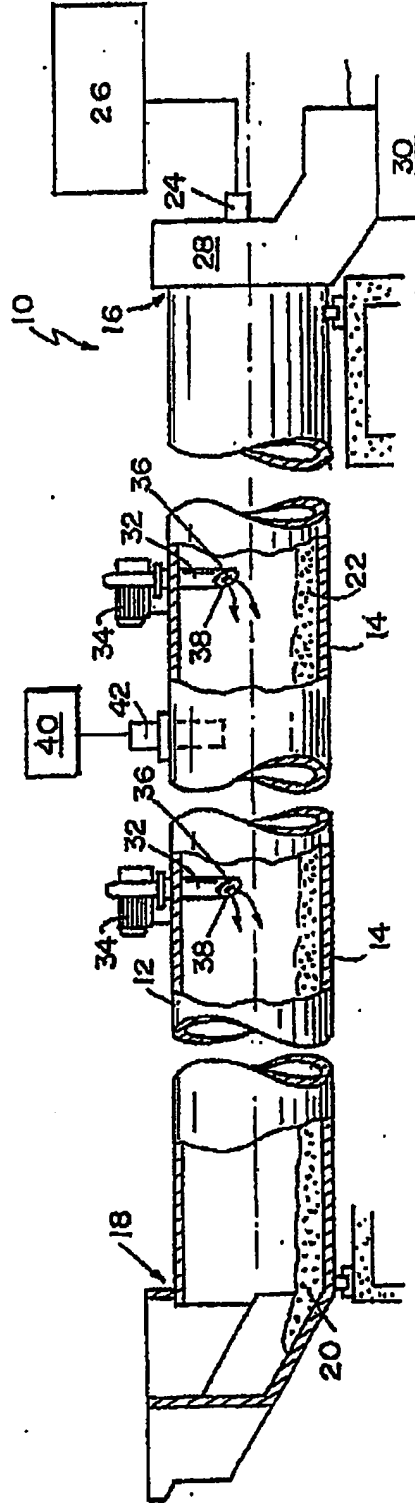
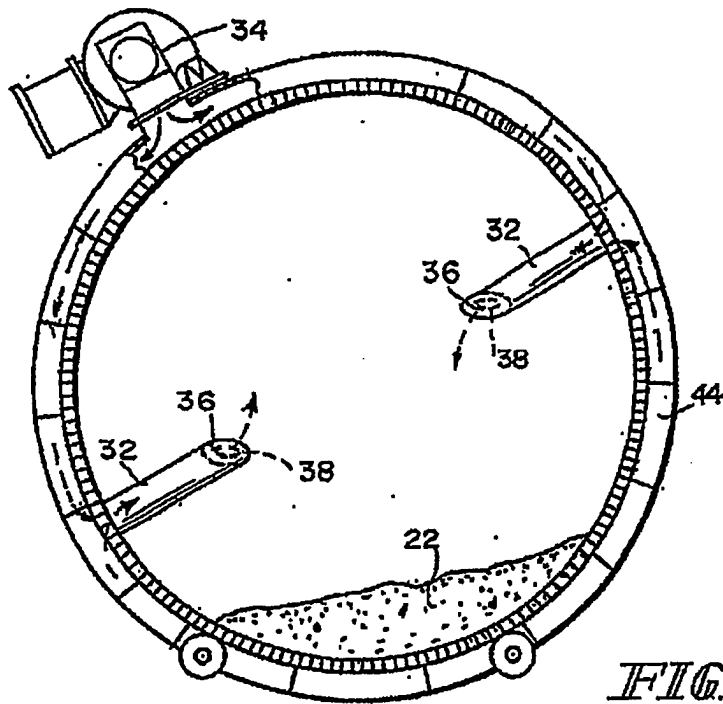
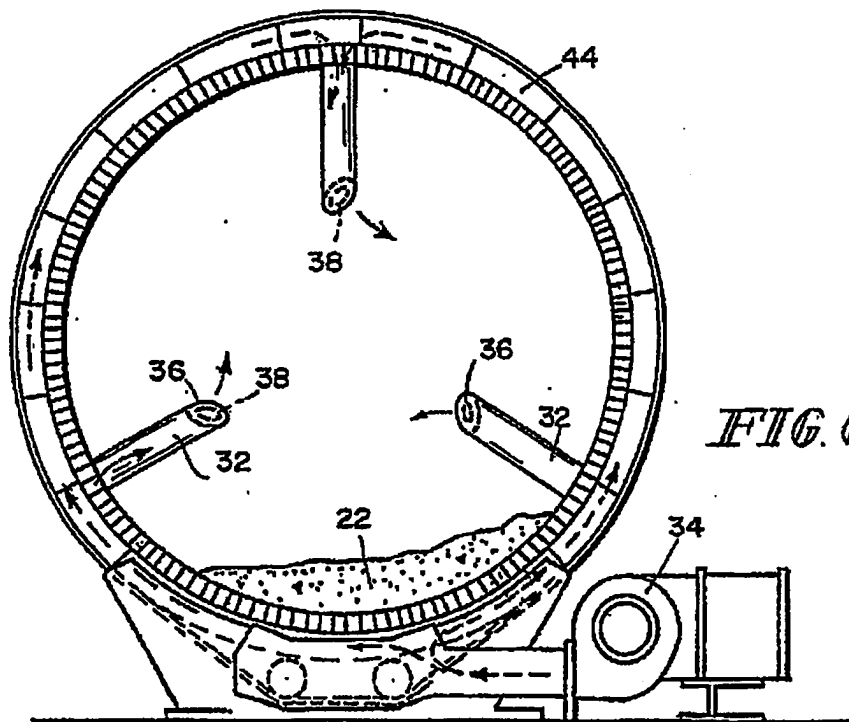


FIG. 4

*FIG. 5**FIG. 6*

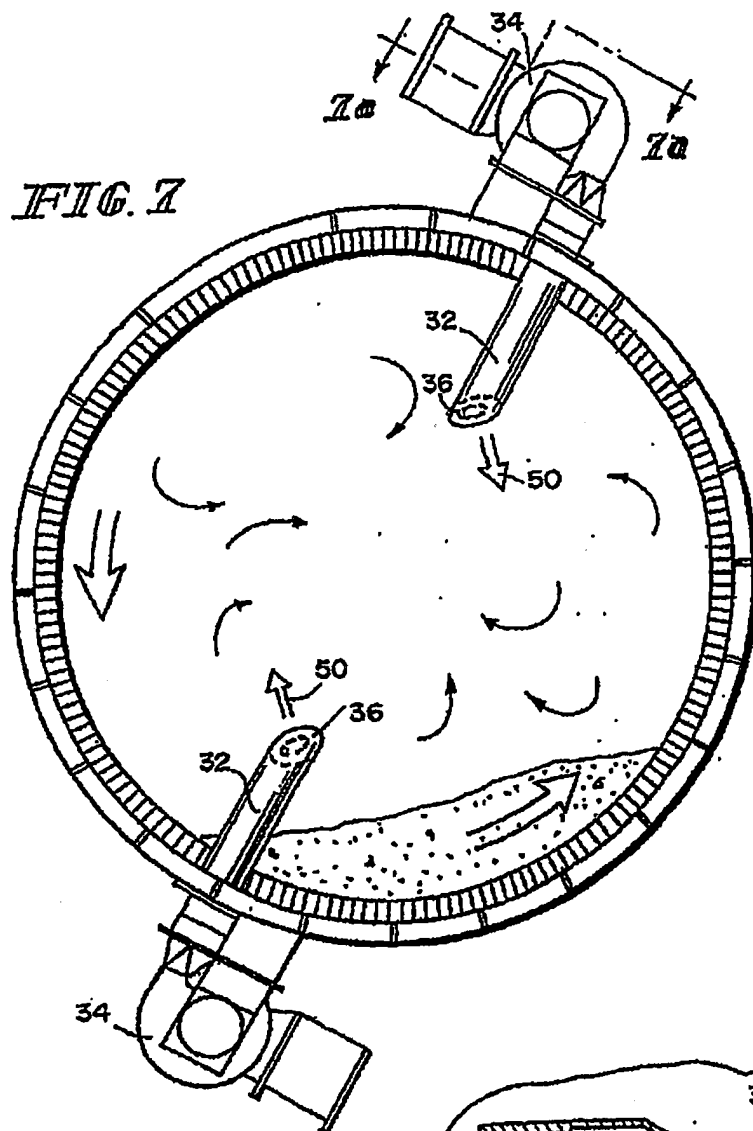


FIG. 8a FIG. 8b

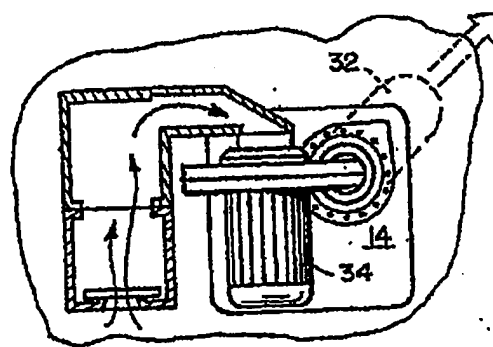


FIG. 7a

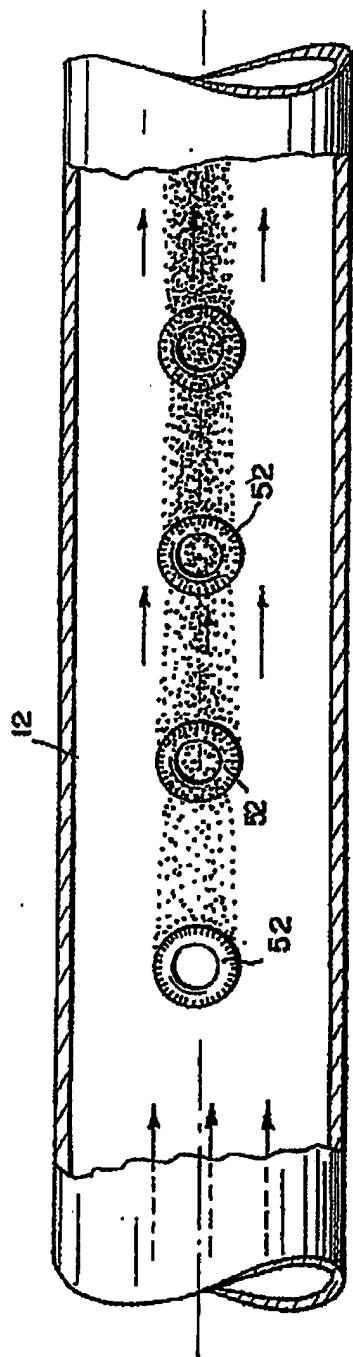


FIG. 9a

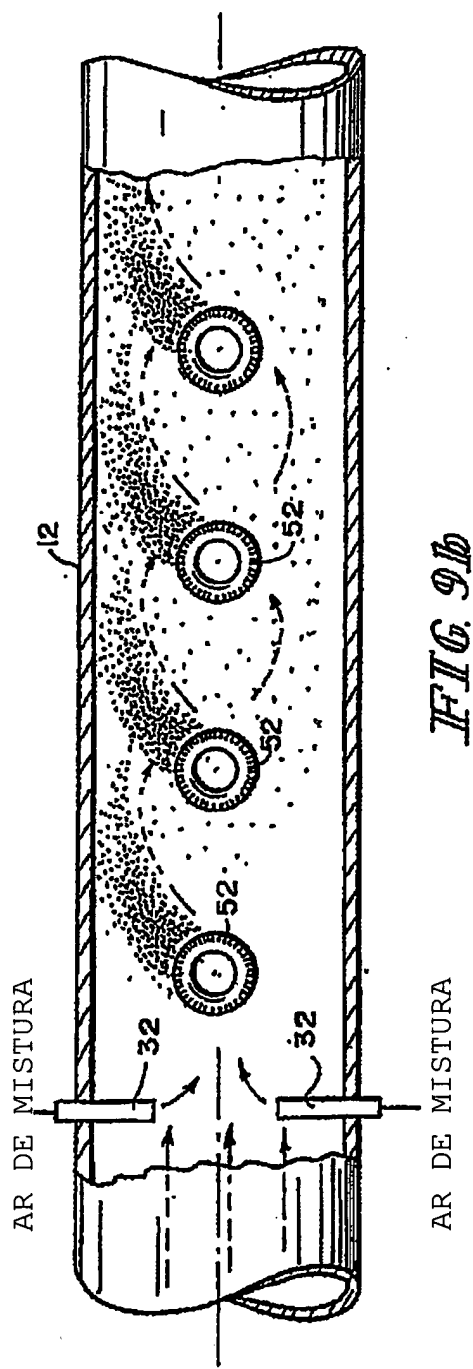


FIG. 9b

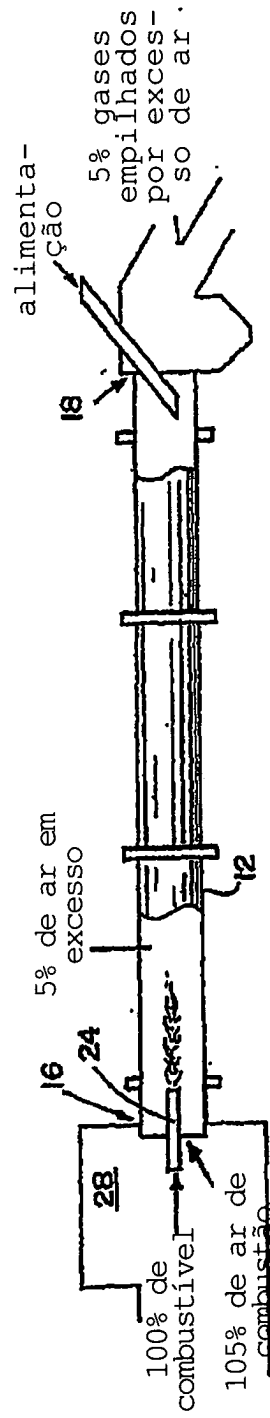


FIG. 10a

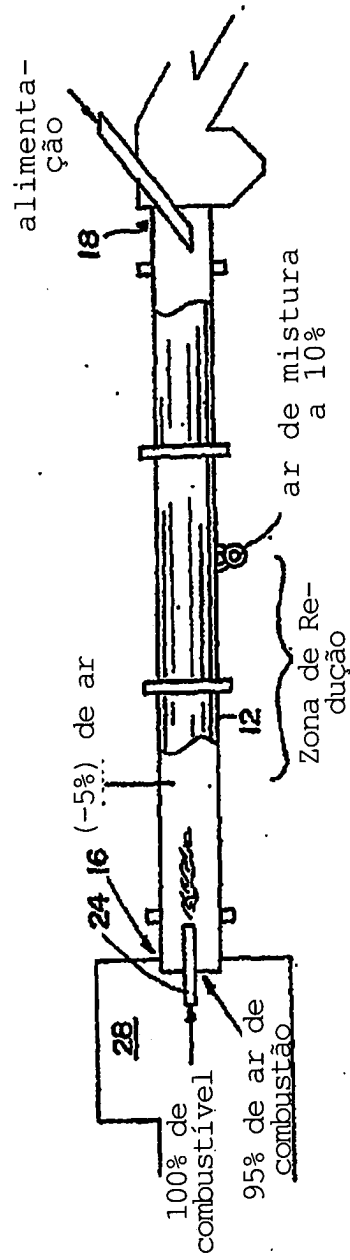


FIG. 10b

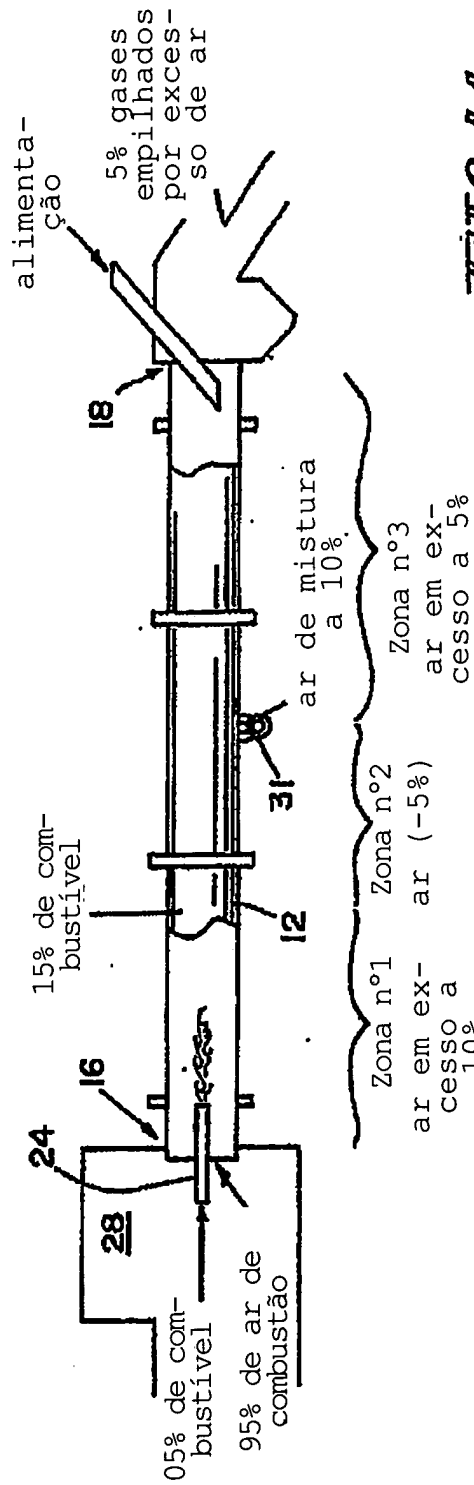


FIG. 11

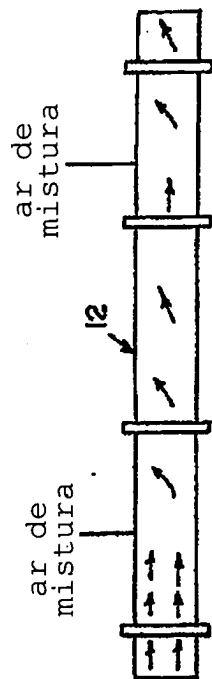


FIG. 13

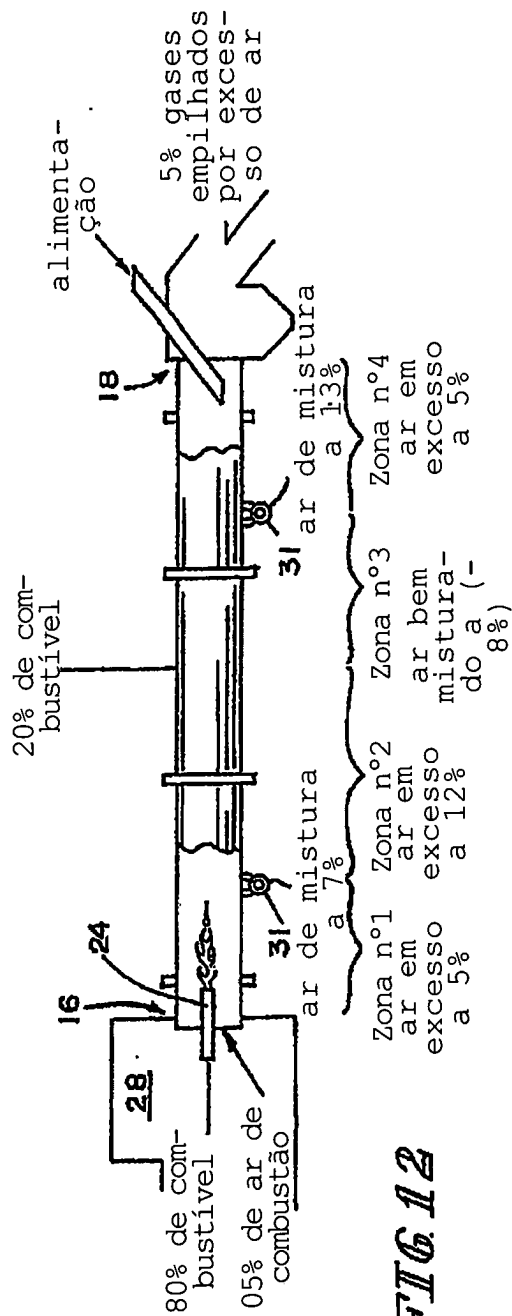


FIG. 12

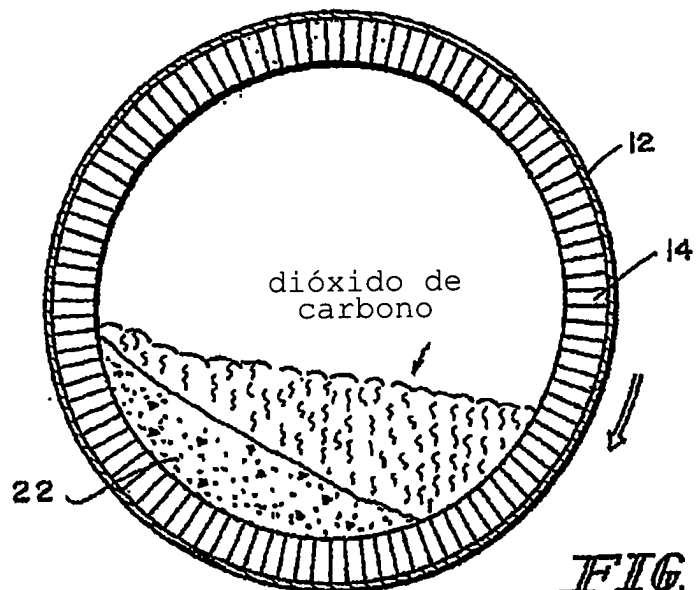


FIG. 14

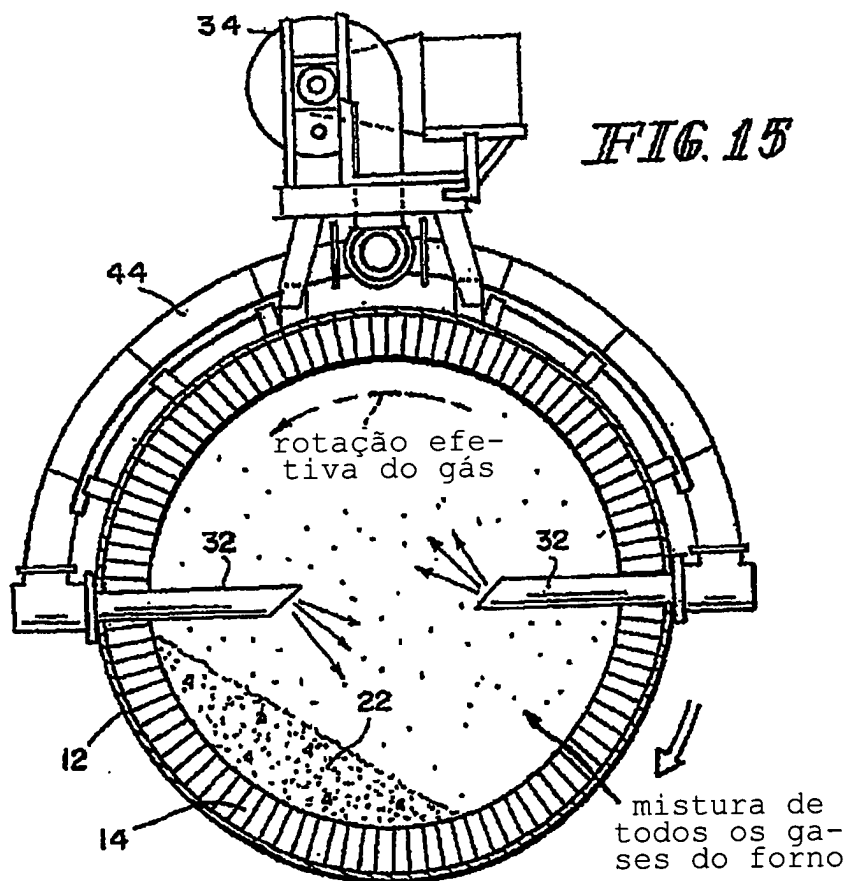
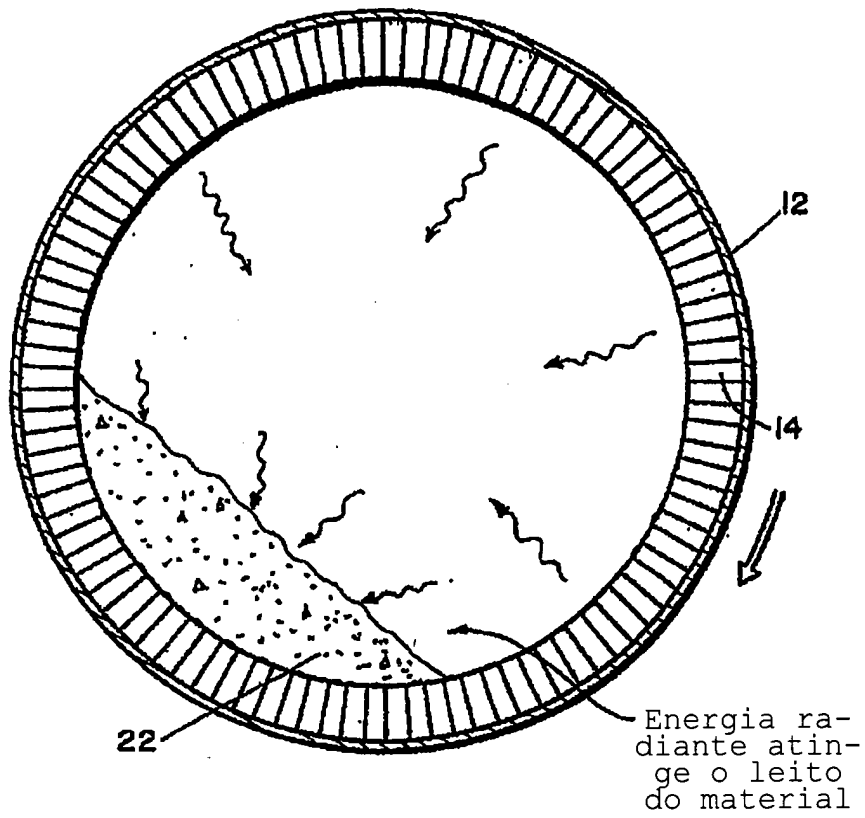
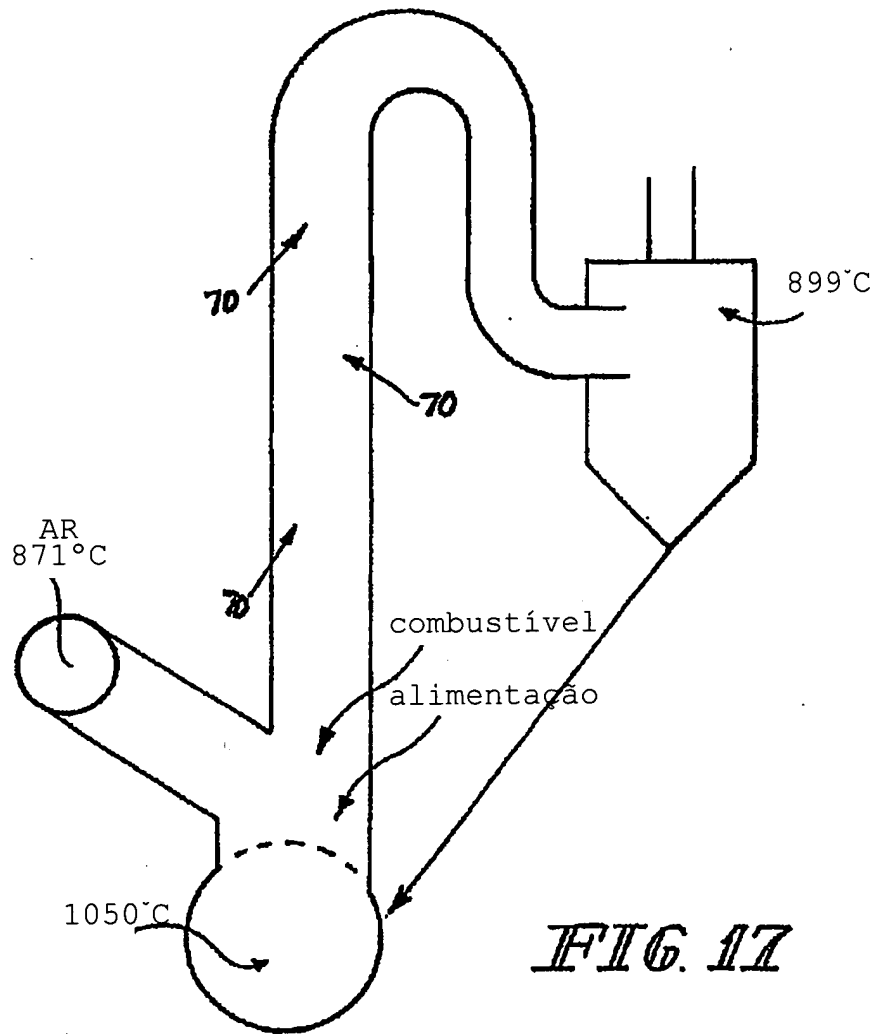
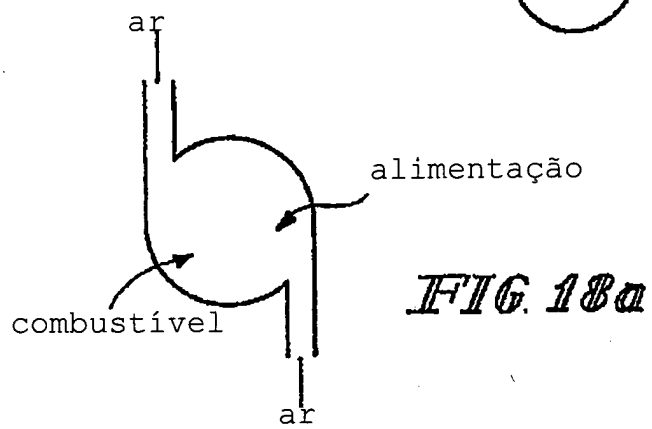
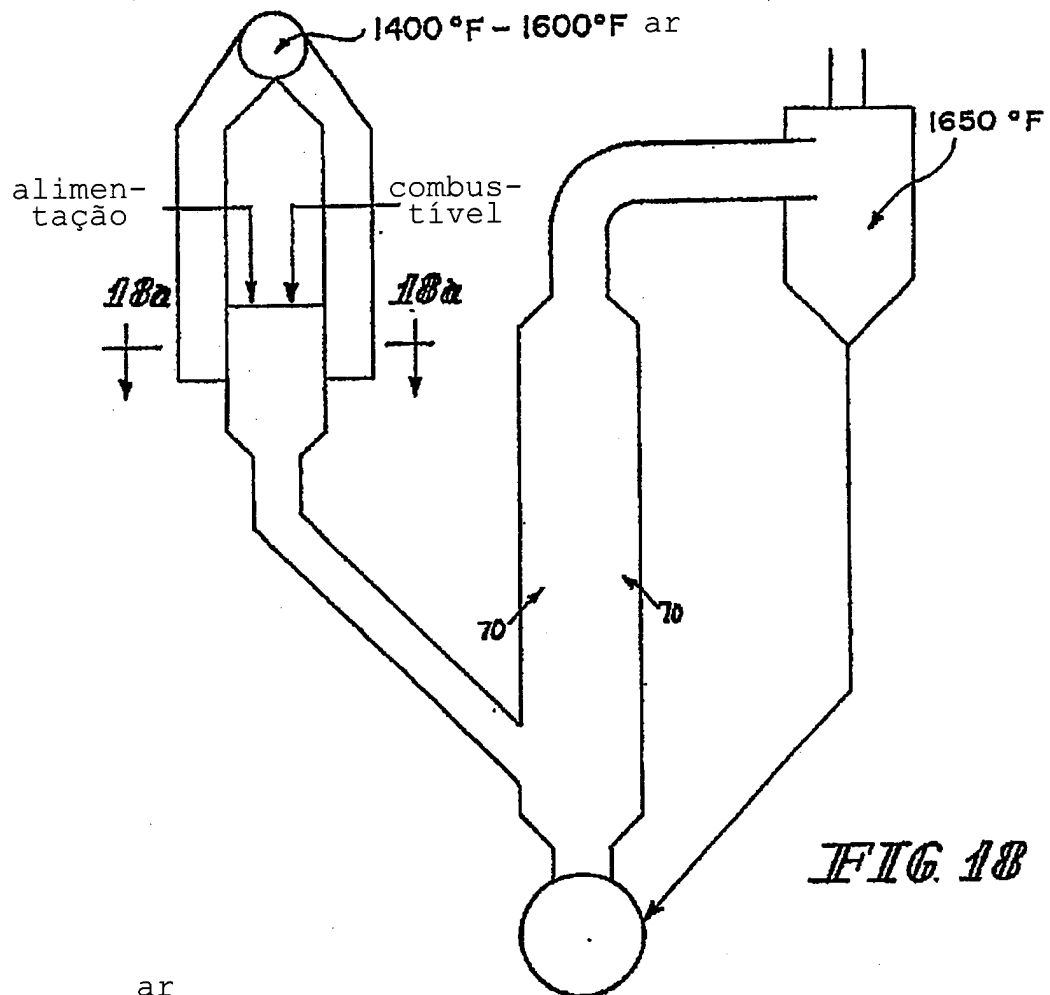
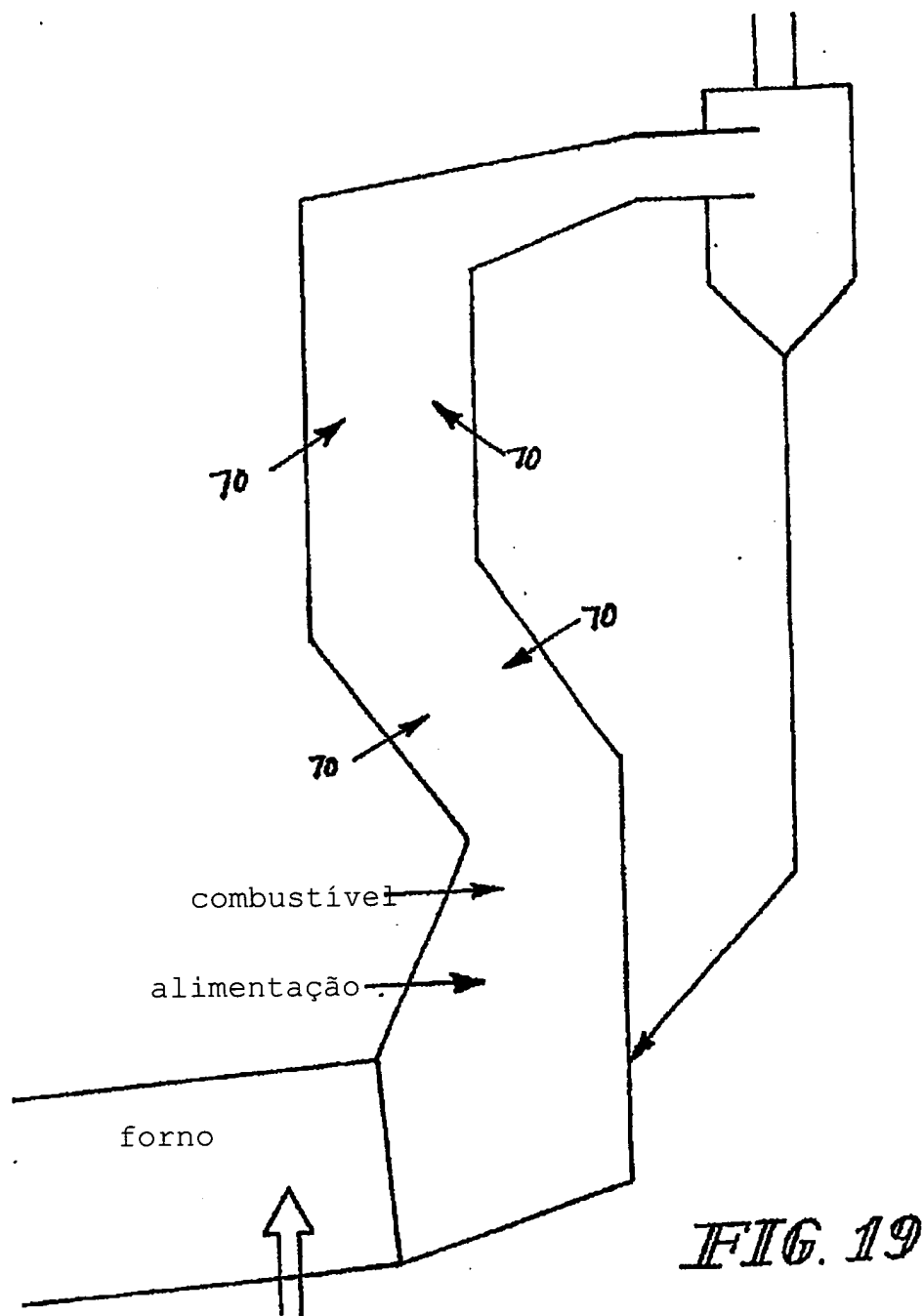


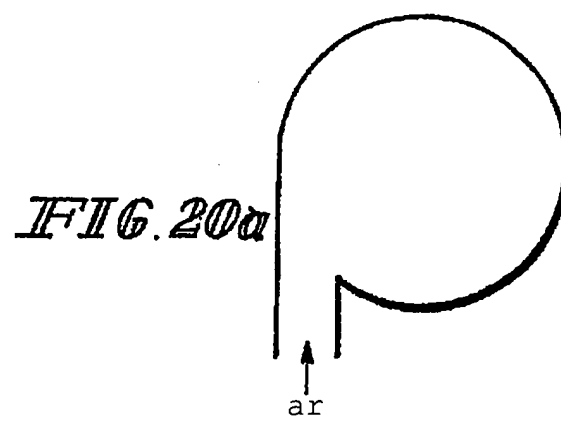
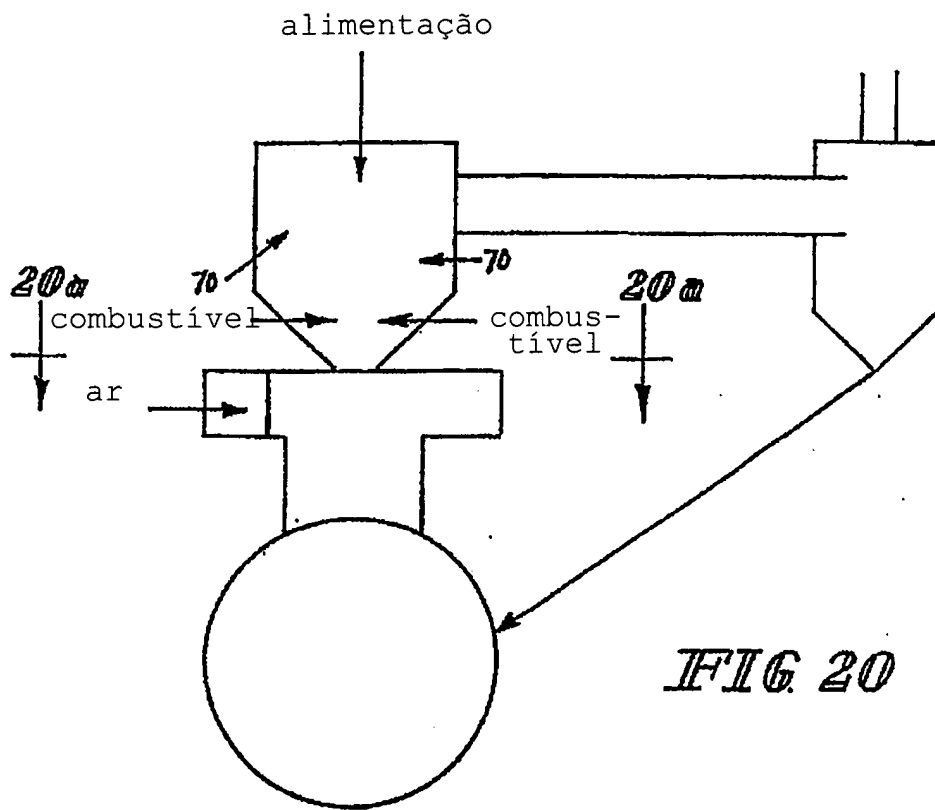
FIG. 15

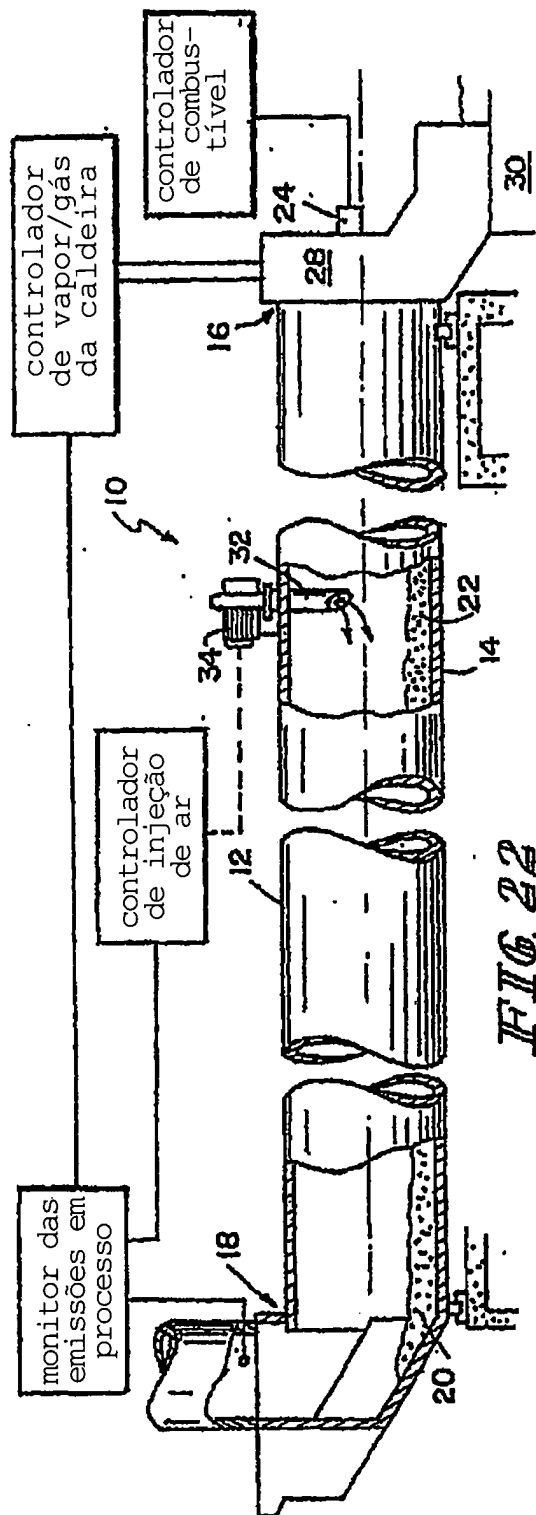
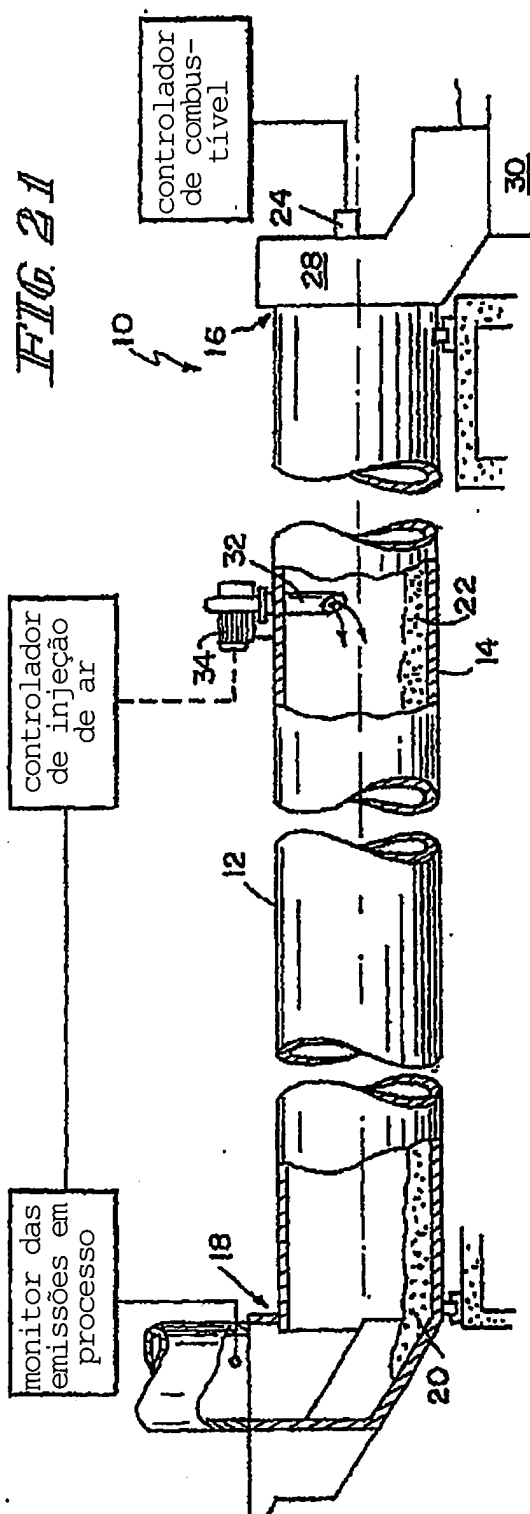
*FIG. 16*

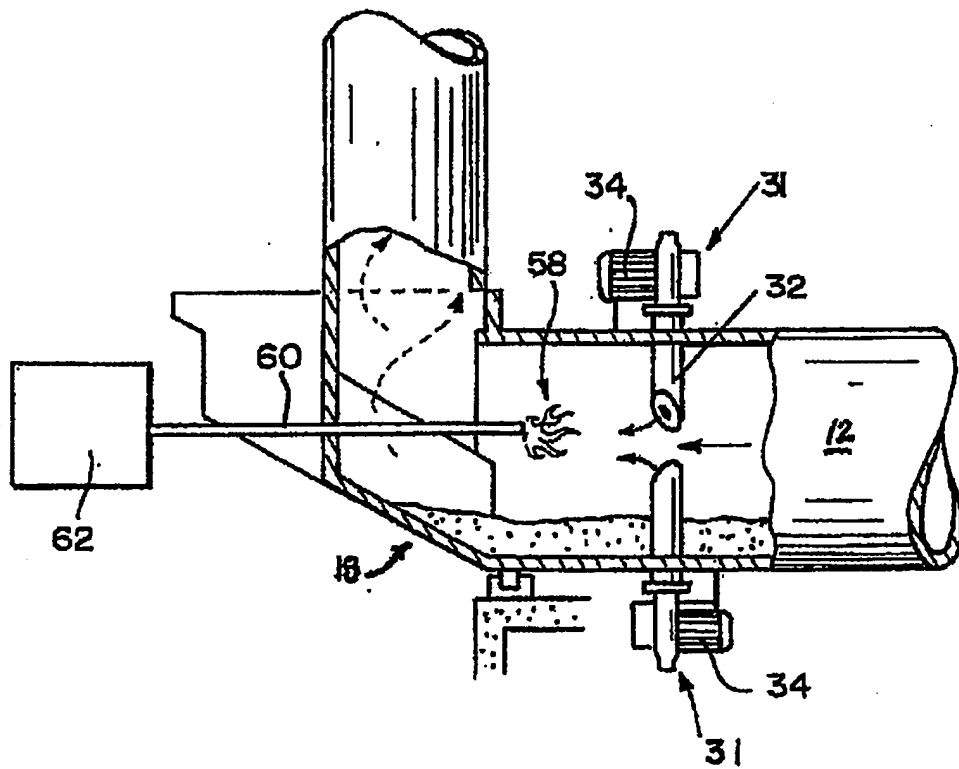
*FIG. 17*

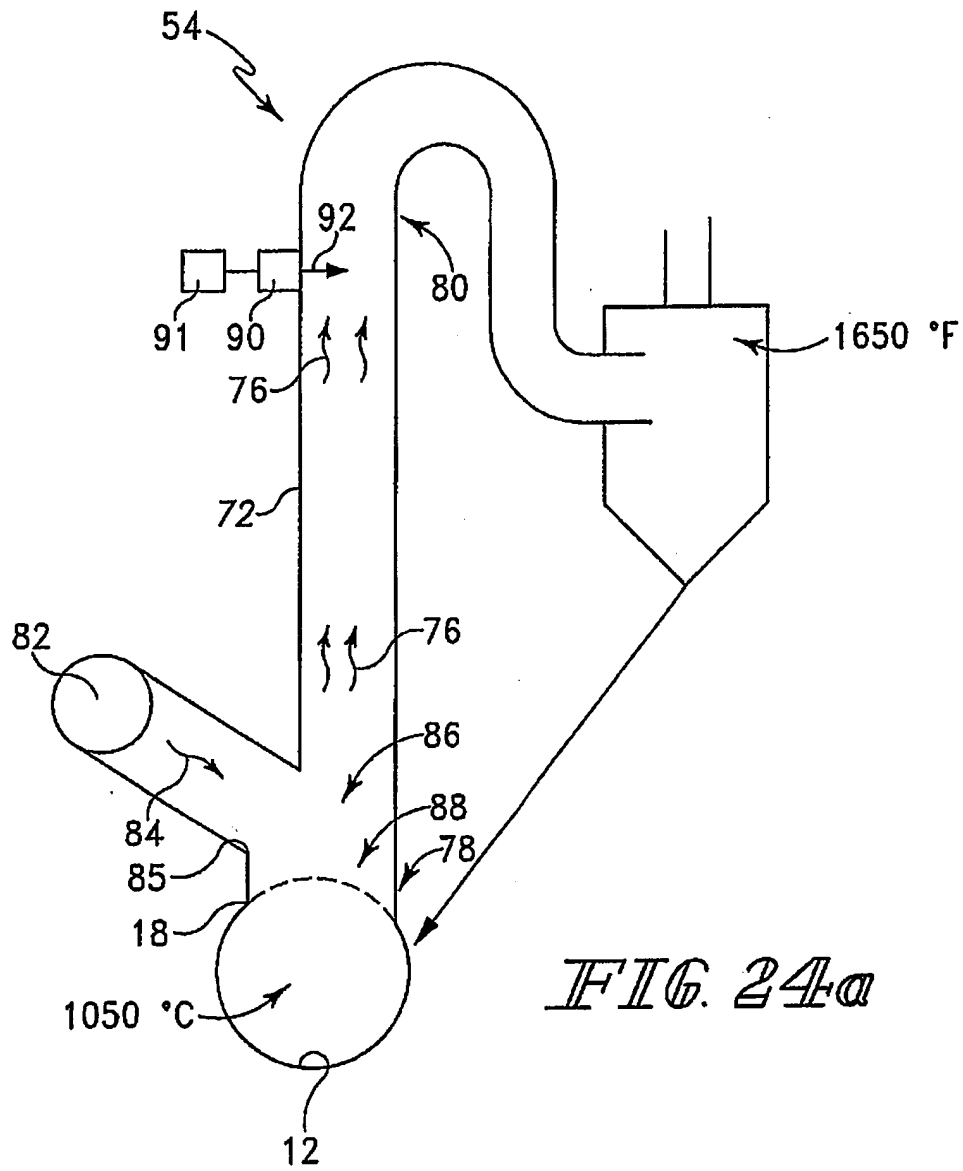


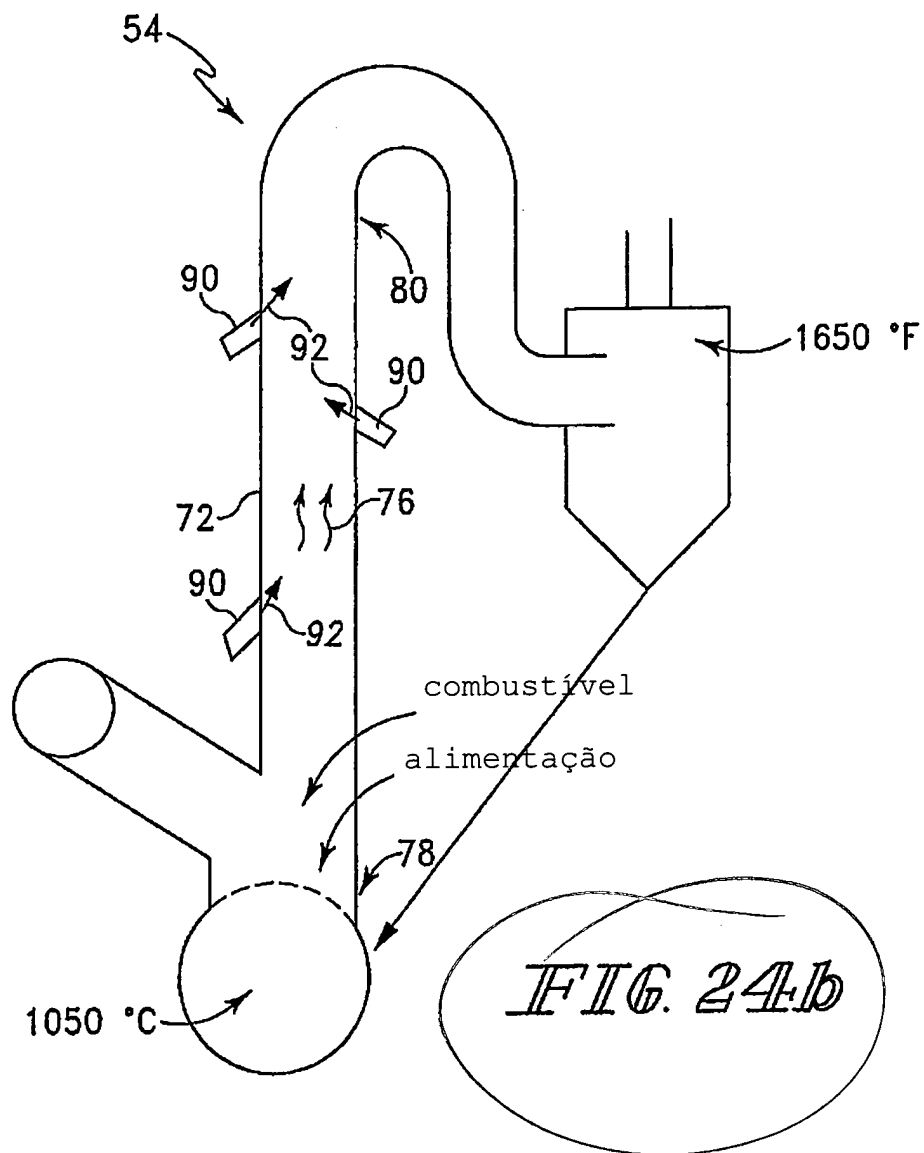


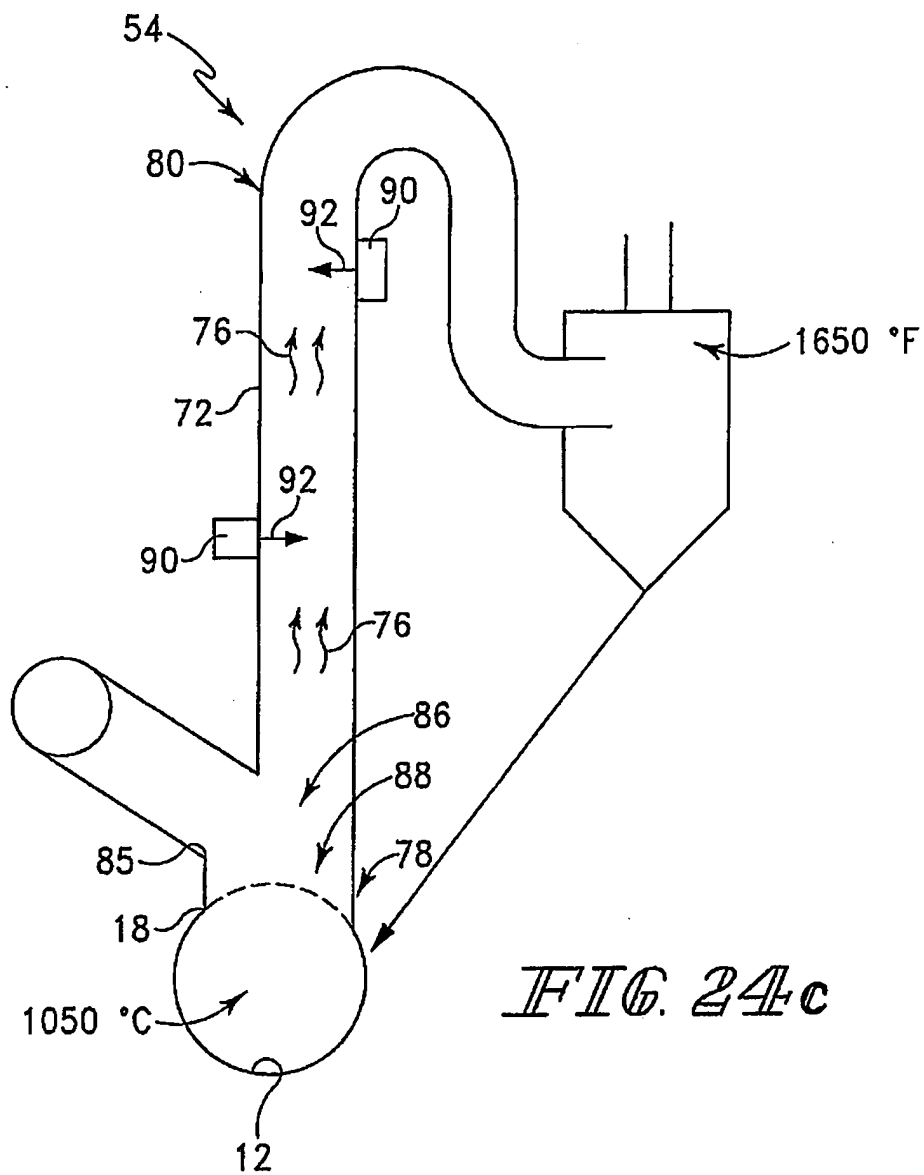


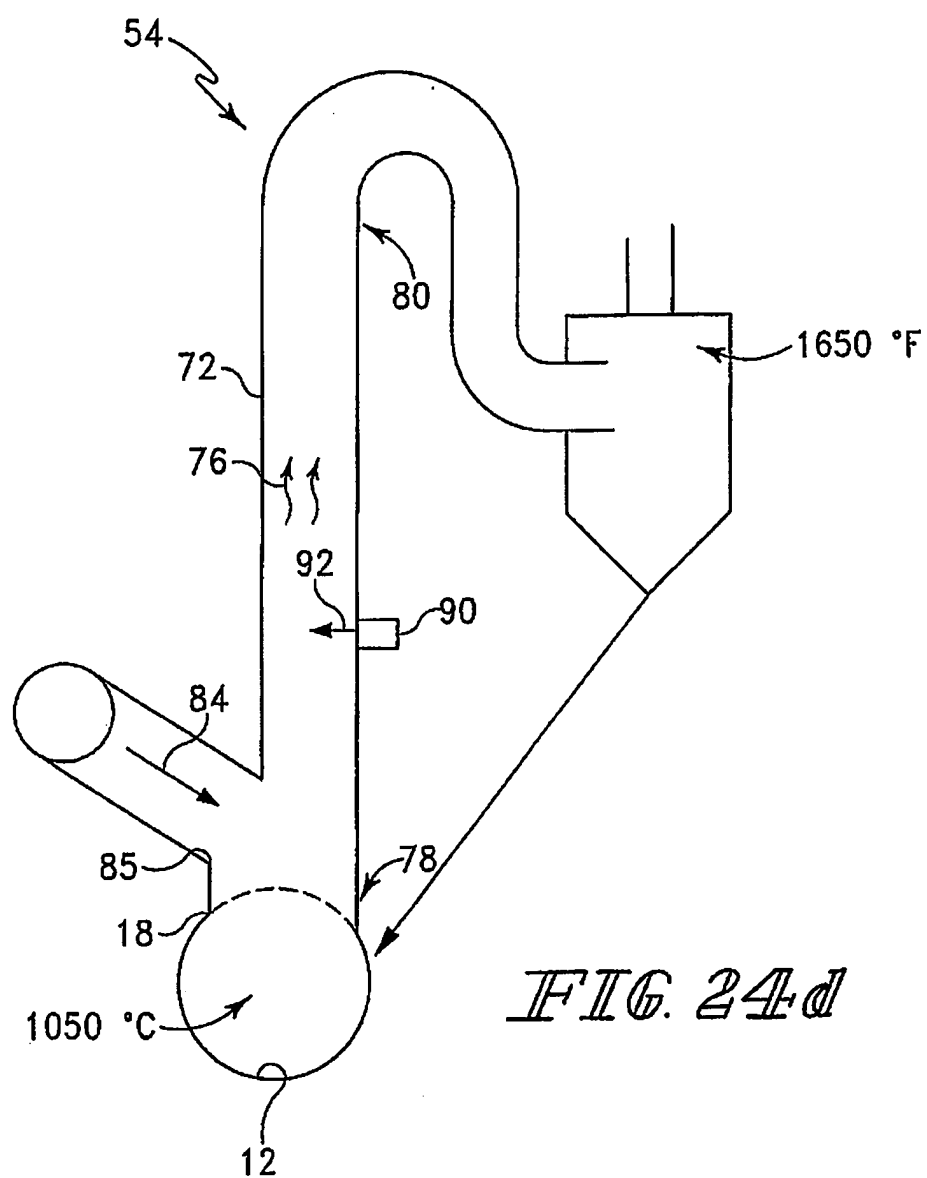


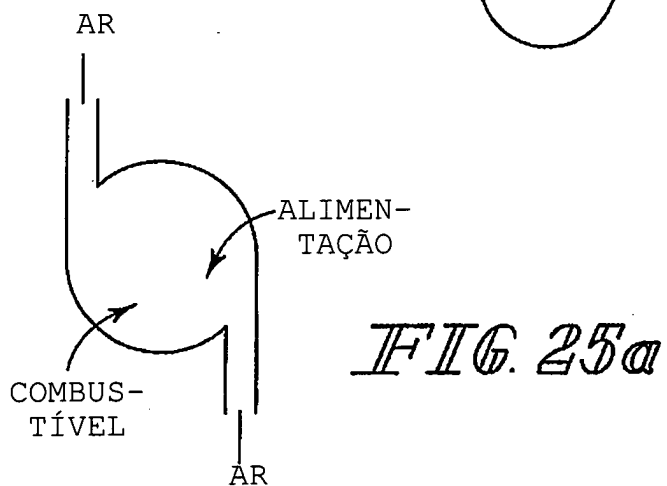
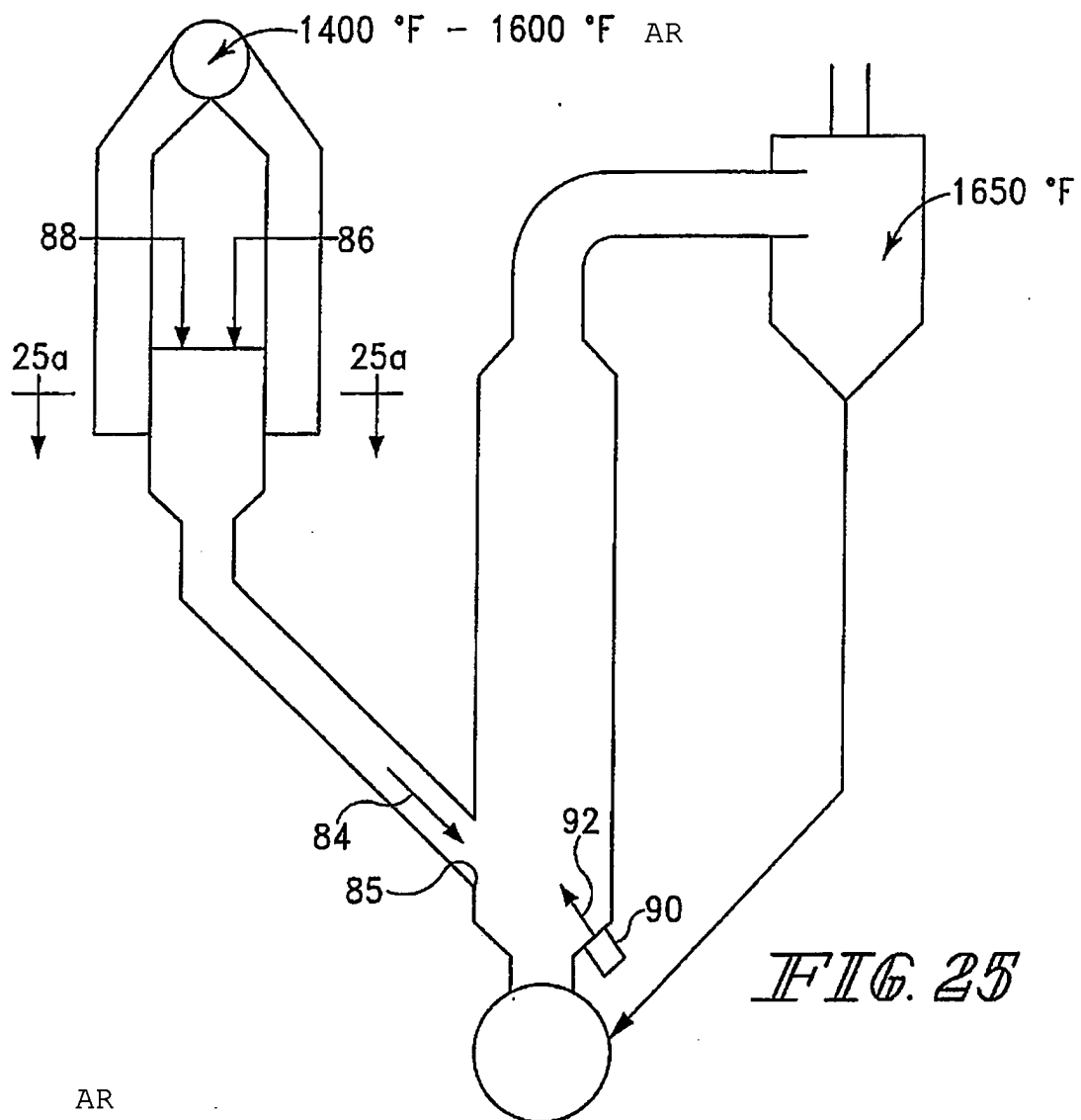
*FIG 23*

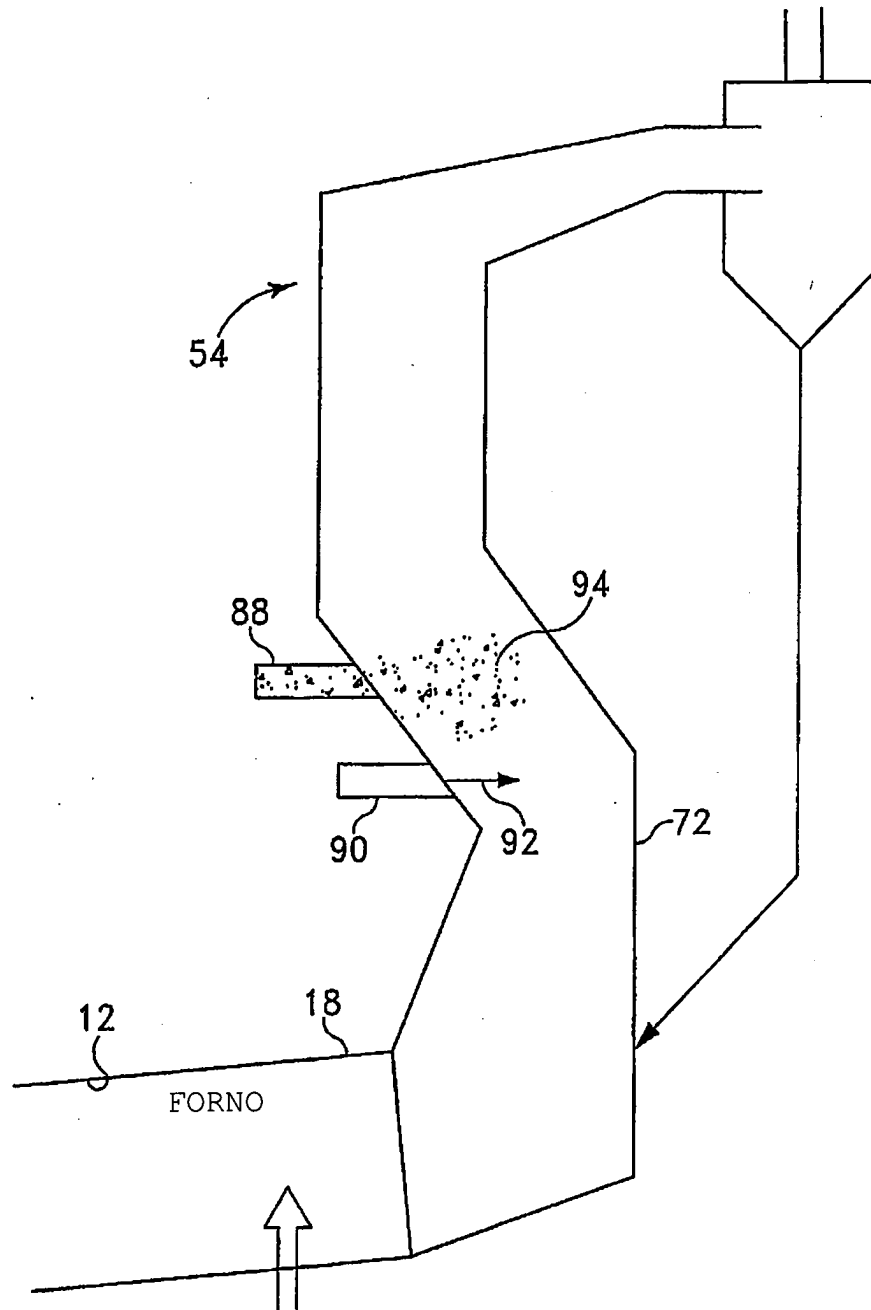
*FIG. 24a*

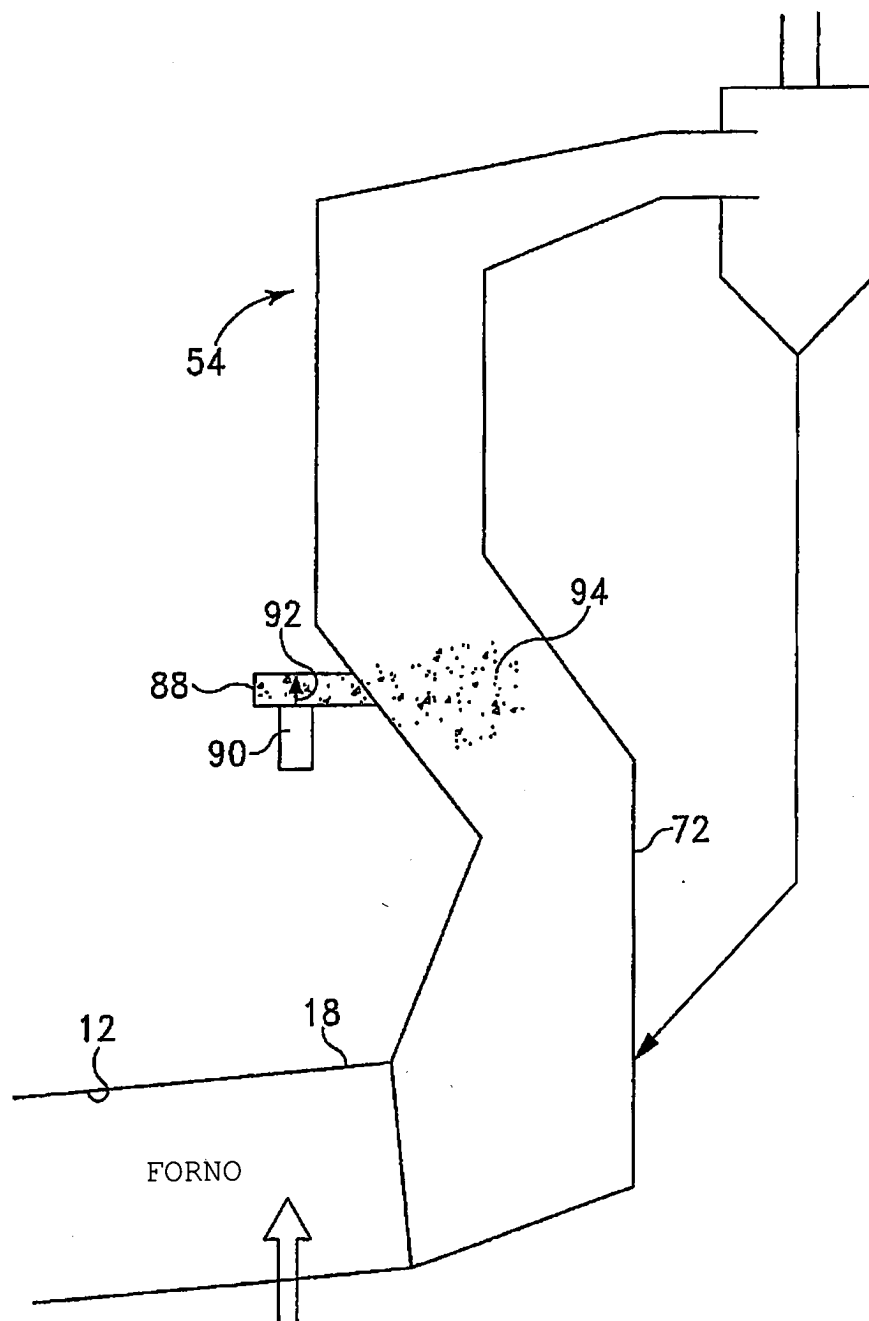


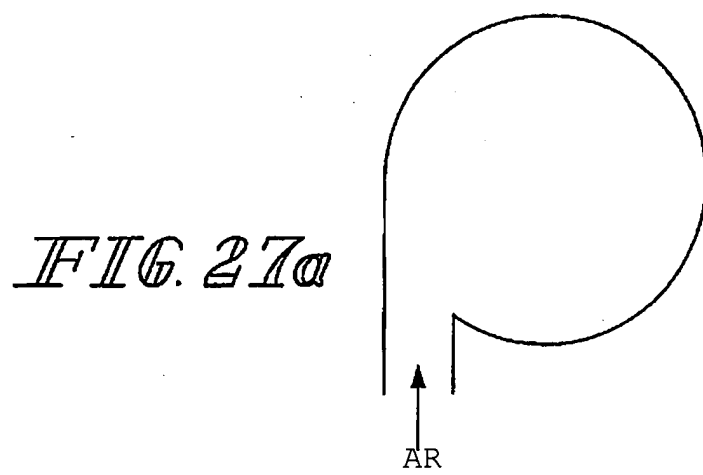
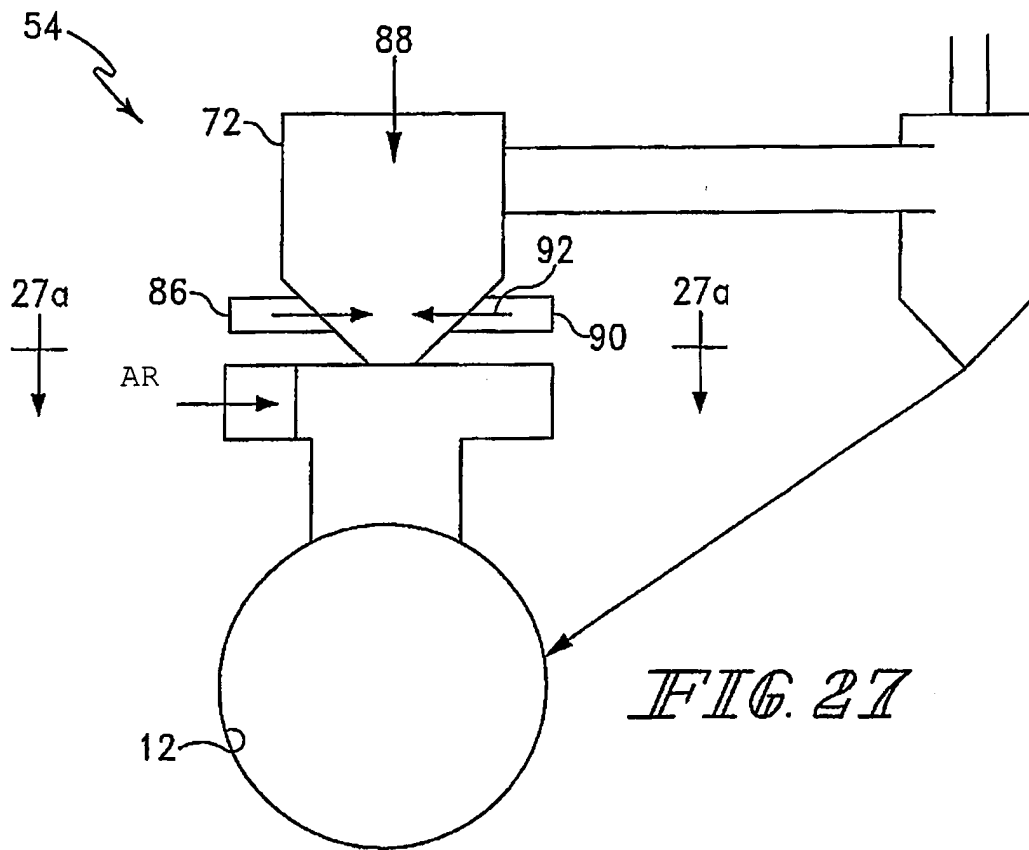






*FIG. 26a*

*FIG. 26b*



P10611031-2

RESUMO

"MÉTODO DE MISTURAR GASES A ALTA TEMPERATURA EM
FORNOS DE PROCESSAMENTO DE MINERAL"

Revela-se um método para reduzir emissões de NO_x e
5 melhorar a eficiência de energia durante processamento de
mineral num forno giratório (10). O método compreende a in-
jeção de ar com alta velocidade/alta energia cinética ao
forno (10) a fim de reduzir ou eliminar a estratificação de
gases no forno. O método pode ser aplicado para misturar
10 gases num vaso do forno giratório (12) ou num vaso de pré-
aquecedor/pré-calcinador.