



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

(11) PI 0714801-1 B1



(22) Data de Depósito: 27/07/2007

(45) Data da Concessão: 08/09/2015
(RPI 2331)

(54) Título: MÉTODO DE AUMENTO DE CONTROLE DE EMISSÕES DE NO_x EM FORNOS DE MINERAL
PREAQUECEDORES ROTATIVOS

(51) Int.Cl.: F27B1/00; F27B15/00

(30) Prioridade Unionista: 03/08/2006 US 11/498,558

(73) Titular(es): Chemical Lime Company

(72) Inventor(es): Lauer, Juergen, Paul S. Nolan, Robert F. Kohl, Seitz, Kerry

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO DE AUMENTO DE CONTROLE DE EMISSÕES DE NO_x EM FORNOS DE MINERAL PREAQUECEDORES ROTATIVOS**".

Descrição

5 Campo da Técnica

A presente invenção refere-se a um método para a redução de emissões de NO_x de fornos de mineral preaquecedores rotativos, particularmente de fornos de cal preaquecedores rotativos, unindo o controle de temperatura e a composição de gás proporcionados por sistemas de mistura de
10 altas temperaturas à injeção de aditivos químicos contendo nitrogênio em uma localização predeterminada e dentro de uma janela de temperatura ótima.

Antecedentes da Técnica

Na atualidade, uma variedade de técnicas de processamento de
15 mineral utilizando fornos de altas temperaturas é conhecida e empregada comercialmente. Estes processos comerciais, particularmente processos de fornos de cal, envolvem uma quantidade de diferentes estruturas básicas de fornos e suas modificações, combustíveis diversos e variáveis graus de automação. Entre os tipos básicos de fornos atualmente empregados para
20 produção de cal nos Estados Unidos estão: o forno rotativo horizontal, o forno preaquecedor rotativo e o forno de cuba vertical. No forno rotativo horizontal convencional, uma longa cuba cilíndrica horizontal é construída em um leve declive. Calcário é carregado no forno em sua extremidade elevada e levado em direção a uma chama na extremidade inferior da cuba, onde o
25 calcário é calcinado em cal virgem e descarregado. Em adição, um fluxo de gases de combustão derivados de combustível injetado na extremidade inferior da cuba move-se no sentido contrário do fluxo descendente de cal.

Os projetos de fornos verticais talvez sejam os projetos mais largamente empregados no mundo. Há centenas de modificações em relação à disposição básica vertical. No entanto, todos esses projetos tendem a
30 ter quatro zonas distintas: (1) uma zona de armazenamento da pedra, que é uma zona vertical ou, frequentemente, uma zona em forma de funil modifi-

cado; (2) uma zona de preaquecimento, projetada para aquecer a pedra próxima de temperaturas de dissociação; (3) uma zona de calcinação, onde ocorre a combustão; e (4) uma zona de resfriamento e descarga, normalmente modelada como um cone truncado invertido, com a cal virgem sendo descarregada pela parte inferior do cone.

O projeto do forno preaquecedor rotativo é um esforço para melhorar, como um todo, a eficiência térmica na operação de calcinação de calcário. Cubas preaquecedoras, que frequentemente lembram um forno vertical assomando acima e montado da extremidade de entrada de um forno rotativo, tem sido os preaquecedores instalados de modo mais frequente.

Qualquer que seja o projeto particular do forno, são produzidos gases indesejáveis, tal como óxido de nitrogênio (NO_x), durante os processos de aquecimento e resfriamento que ocorrem dentro do forno. Preocupações crescentes em relação a aspectos sanitários e ambientais envolvendo tais emissões dos processos de combustão têm dado origem, de um modo geral, a várias tecnologias desenvolvidas para reduzir emissões de NO_x . Estas tecnologias têm sido aplicadas em uma variedade de diferentes situações, que se estendem muito além do campo das operações de calcinação de mineral. No caso de queimadores de gás sem duto usados em residências, por exemplo, são utilizadas tecnologias tais como a "tecnologia Bowin de baixo NO_x ", onde ar e gás combustível são pré-misturados em uma proporção maior ou igual ao requisito de combustão estequiométrico. Outras tecnologias, tais como redução catalítica seletiva e redução não-catalítica seletiva, reduzem a pós-combustão de NO_x em uma variedade de diferentes montagens industriais. Na área do consumidor, em anos recentes têm sido largamente utilizados os assim chamados "conversores catalíticos" em escapamentos de motor de automóvel para reduzir as emissões de NO_x .

Na área industrial, existem métodos atuais para reduzir emissões de NO_x injetando amônia ou precursores de amônia que tem sido usados com pleno sucesso em sistemas de redução não-catalítica seletiva para controle de emissões de NO_x de caldeiras na indústria de energia. No entanto, a eficiência deles está limitada, de modo frequente, pela extensão em

que a temperatura do gás de combustão no ponto de injeção permanece dentro de uma janela de temperatura relativamente estreita, em algum lugar da ordem de 871 a 1204°C (1600 a 2200°F). Variações de cargas diárias normais na indústria conduzirão, de modo frequente, a temperatura para fora desta faixa. Em contraste, tais desvios de temperatura são muito menos frequentes ou de largo espectro em aplicações de processamento de mineral tais como fornos usados para produzir cal virgem.

Assim, a possibilidade de usar injeção de amônia para reduzir emissões de NO_x parece ser uma abordagem prática para fornos de processamento de mineral. No entanto, ambos os fornos, tanto o rotativo horizontal quanto o de cuba vertical acima descritos possuem uma temperatura ótima para a injeção de uréia ou amônio que é localizada aproximadamente no meio do forno. Isto adiciona certo grau de dificuldade ao processo de injeção e limita a sua utilidade como uma técnica de redução de NO_x para tais estruturas de forno.

Em adição à injeção de amônia como um meio para controlar as emissões de NO_x em fornos de processamento de mineral, outra técnica conhecida utilizada em fornos de mineral geralmente trabalha com a introdução de gases turbulentos no interior do forno. A mistura de alta temperatura controlada dos gases dentro do forno proporciona um meio de redução de temperatura e estratificação composicional, resultando em transferência de calor mais eficiente e consumo de combustível melhorado dentro do forno.

Existe literatura de patente que proporciona uma explanação da técnica de mistura de gases de alta temperatura em fornos de processamento de mineral para reduzir emissões de NO_x. Por exemplo, a Patente U.S. Número 6.672.865, publicada em 6 de janeiro de 2004, ensina injetar ar com alta velocidade/alta energia cinética em um forno de mineral para reduzir ou eliminar a estratificação de gases de forno e com isso promover a redução de emissões de NO_x. No entanto, esta referência não ensina o conceito de promover o aumento da redução de NO_x unindo o controle de temperatura e composição de gás proporcionado pela mistura de alta temperatura com o uso de amônia ou precursores de amônia que são introduzidos em um local

particular no processo e dentro de uma janela de temperatura ótima.

Também são conhecidas as disposições de fornos para tratamento de material granulado finamente, tal como o clínquer de cimento, no qual o ar de escapamento da zona de resfriamento é introduzido em duas
5 correntes de ar bipartidas em pontos diferentes na zona de calcinação, a distribuição de ar e combustível sendo ajustada de tal forma que a seção da zona de calcinação que é operada sob condições de oxidação está próxima da seção operada sob condições de redução. Essas tecnologias buscam obter uma diminuição do nível básico de NO_x através de uma capacidade de
10 ajustamento objetivada das condições de reação na zona de calcinação, particularmente pela escolha de uma janela de temperatura ótima e de um conteúdo de oxigênio favorável. Embora estas tecnologias conhecidas busquem obter condições de reação objetivadas na zona de calcinação, elas não parecem estar especificamente preocupadas em combinar a distribuição de ar
15 de alta energia cinética/alta velocidade com a injeção de um aditivo de amônia.

De modo muito semelhante, técnicas conhecidas descrevem um leito elástico de material de partículas que é fluidificado pelo uso de ar primário e que pode ter um agente redutor introduzido em adição em uma zona de
20 combustão juntamente com a injeção de ar secundário, para suprimir emissões de NO_x . Essas técnicas anteriores ensinam mais uma vez a ajustagem das quantidades de ar fornecidas à câmara de calcinação ou de combustão de forma estequiométrica de modo a proporcionar tanto uma atmosfera de redução quanto de oxidação. No entanto, isto necessariamente não equa-
25 ciona o uso de injeção de ar de alta energia cinética/alta velocidade, e essas tecnologias existentes não combinam o uso de aditivos químicos contendo nitrogênio.

Apesar de terem sido desenvolvidas diversas tecnologias para dar tratamento específico à presença de emissões de NO_x em uma variedade de estruturas comerciais e industriais, continua a existir a necessidade de
30 promover melhoramentos em operações de fornos de cal em razão da natureza dos processos de combustão que ocorrem dentro de um forno de calcá-

rio.

Consequentemente, existe a demanda de um método para promover o aumento da redução de NO_x em fornos de calcário preaquecedores rotativos e de superar os outros problemas descritos com relação à técnica anterior, método aperfeiçoado este que ficará evidente àqueles versados na técnica a partir da descrição detalhada abaixo proporcionada.

Descrição da Invenção

A presente invenção tem como um objetivo combinar o uso de um sistema de mistura de alta temperatura do tipo empregado em fornos de processamento de mineral com a injeção subsequente ou concomitante de uma substância química contendo nitrogênio, tal como amônia, uréia, ácido cianúrico ou outros precursores de amônia, em estequiometrias apropriadas dentro de uma faixa de temperatura ótima e em um ponto ou pontos pré-selecionados dentro da operação de calcinação.

Outro objetivo da presente invenção é proporcionar uma redução adicional em emissões de NO_x na indústria de calcinação de cal, particularmente no caso de fornos preaquecedores rotativos de calcário.

A presente invenção proporciona um método aperfeiçoado de redução de emissões de NO_x em um forno de calcário preaquecedor rotativo tendo uma zona de alimentação, uma zona de preaquecimento, uma zona de calcinação e uma zona de resfriamento e descarga. No método preferencial da invenção, o forno inclui um vaso rotativo inclinado tendo uma extremidade superior e uma extremidade inferior, uma montagem de preaquecimento posicionada próxima à extremidade superior do vaso rotativo e um queimador posicionado próximo a uma entrada de ar de combustão na extremidade inferior do vaso rotativo. Um suprimento de calcário é primeiro introduzido dentro da zona de alimentação. O calcário é então movido através da zona de preaquecimento com uma faixa de temperatura de preaquecimento predeterminada para uma extremidade superior da zona de calcinação, onde o calcário é aquecido a uma temperatura e por um tempo suficientes para converter o calcário em cal virgem.

Um aditivo químico contendo nitrogênio, tal como uma fonte de

amônia ou um precursor de amônia, é introduzido em um ponto no processo onde as temperaturas de forno estão dentro de uma faixa ótima para obter a máxima redução de NO_x com um mínimo de deslizamento de NH_3 . Este ponto será geralmente um ponto entre a zona de preaquecimento e uma região primária da zona de calcinação em um local de temperatura ótima determinado entre as zonas, no qual os gases de combustão da zona de calcinação vão para dentro da zona de preaquecimento para aquecer a alimentação de calcário. O ponto de temperatura ótima preferencial, no qual o aditivo químico é introduzido dentro do forno, é um ponto entre a zona de preaquecimento e a zona de calcinação tendo uma temperatura na faixa aproximada de 871 a 1204°C (1600 a 2200°F). No caso de amônia ou precursor de amônia como aditivo químico, o aditivo é preferivelmente fornecido como um pó seco que é soprado para dentro do forno no ponto ou pontos selecionados através de rede de dutos disponível.

A adição do aditivo químico é também unida à injeção de ar turbulento em um ponto ou pontos selecionados previamente na corrente descendente da zona de preaquecimento para reduzir a estratificação de gases de forno e aumentar a eficiência energética do forno. O calcário calcinado passa da zona de calcinação para a zona de resfriamento e descarga, com o produto cal virgem resultante sendo descarregado do forno.

Objetivos, recursos e vantagens adicionais serão evidentes na descrição escrita que se segue.

Breve Descrição dos Desenhos

A figura 1 é uma vista em perspectiva de um forno rotativo horizontal.

A figura 2 é um gráfico mostrando o efeito de injeção de amônia em emissões de NO_x em um forno rotativo.

A figura 3 é uma vista lateral simplificada de um forno vertical tradicional, mostrado parcialmente em seção.

A figura 4 é uma representação esquemática das diferentes zonas de processos em um forno de mineral vertical tal como o forno da figura 3.

A figura 5 é uma ilustração esquemática de um forno preaquecedor rotativo empregando o método da presente invenção.

Melhor Modo de Executar a Invenção

A figura 1 mostra um forno de cal rotativo horizontal tradicional, identificado de um modo geral como 11. Fornos rotativos convencionais do tipo mostrado possuem tipicamente uma proporção de diâmetro em relação a comprimento em torno de 1:30-40, sendo típicos comprimentos de 22,86 a 152,4 metros (75-500 pés) e diâmetros de 1,22 a 3,35 metros (4-11 pés). Ver Boynton, "Chemistry and Technology of Lime and Limestone", Wiley-Interscience, segunda edição, páginas 254-255. Tais fornos são instalados em um leve declive, geralmente cerca de 3-5 graus, como em colunas de fundação 12, permitindo ao forno girar sobre munhões 17 em cada coluna. A velocidade de rotação do forno é ajustável através do emprego de, por exemplo, motores com velocidade variável, com o forno típico girando a uma velocidade em torno de 35-80 revoluções por hora.

Os fornos são tipicamente forrados com cerca de 15,24 a 25,4 centímetros (6 a 10 polegadas) de tijolo refratário mais algum isolamento e são envolvidos em um corpo 14 de placa de caldeira de aço pesado unido em secções. O calcário é carregado dentro do forno na extremidade de entrada elevada 21 vindo de um silo de armazenagem ou transportador de alimentação e a cal virgem é descarregada em uma saída ou extremidade inferior 23, movendo-se no sentido contrário em relação ao fluxo de gases de combustão derivados do combustível injetado na extremidade inferior. Tais fornos são tipicamente carregados com apenas um máximo de cerca de 10% de calcário de modo que em torno de 90% do espaço interno do forno é confinado à chama e gases quentes.

Uma variedade de tipos diferentes de combustível pode ser empregada com fornos rotativos, tais como coque de petróleo, alcatrão de carvão de fornos de coque, e monóxido de carbono gasoso de rejeitos de fábricas de aço e químicas. O carvão pulverizado é possivelmente o combustível dominante para fornos rotativos nos Estados Unidos. Todas as instalações rotativas de queima de carvão geralmente conservam seu próprio equipa-

mento de pulverização fixado a cada forno. O carvão pulverizado dividido finalmente com cerca de 75% passando em uma tela de mesh 200 é tipicamente usado como a fonte de combustível. No exemplo mostrado na figura 1, a carga de calcário não-beneficiado é alimentada por intermédio de um transportador 19 para a extremidade de entrada 21 da câmara giratória, sendo o produto descarregado através da extremidade de saída 23 adjacente à fonte de calor (não mostrada).

Outro tipo de forno que é largamente utilizado no momento é o assim chamado forno vertical ilustrado nas figuras 3 e 4. No caso de um forno vertical, tal como o forno ilustrado na figura 3, o calcário é descarregado de um transportador 25 em uma câmara de alimentação ou armazenamento 27. A pedra então passa em movimento descendente através de uma câmara de preaquecimento 29 para uma câmara de calcinação 31, e em seguida para uma câmara de resfriamento 33 antes de ser descarregada como cal virgem. As várias zonas de processamento do forno vertical são mostradas esquematicamente na figura 4. As quatro zonas, de cima para baixo, em sequência, são (1) *armazenamento da pedra*, uma zona vertical ou frequentemente moldada como funil modificado; (2) *zona de preaquecimento*, estruturada para aquecer a pedra próximo de temperaturas de dissociação; (3) *zona de calcinação*, onde ocorre a combustão e o CO₂ (dióxido de carbono) é removido da pedra; e (4) *zona de resfriamento e descarga*, usualmente moldada como um cone truncado invertido, em cuja parte inferior a cal é descarregada.

A figura 5 ilustra, de forma esquemática, outro tipo de forno de cal 35 conhecido como "forno de calcário preaquecedor rotativo". É para este tipo particular de forno de processamento de mineral que a presente invenção é principalmente dirigida, antes de tudo devido à facilidade ou conveniência permitida na injeção do aditivo químico. O forno preaquecedor rotativo pode também se fazer a analogia de ter também quatro zonas de tratamento principais, denominadas zona de alimentação (de um modo geral, a região acima da linha imaginária 37), zona de preaquecimento (geralmente, a região acima da linha imaginária 39), zona de calcinação (mostrada geral-

mente como 41 na figura 5) e uma zona de resfriamento e descarga (geralmente abaixo da linha imaginária 43). A zona de alimentação 37 é o local em que o calcário não-tratado entra no forno, sendo localizada diretamente acima da zona de preaquecimento 39. Por sua vez, a zona de preaquecimento 39 comunica-se com a extremidade superior da zona de calcinação 41.

A zona de preaquecimento 39 inclui a cuba vertical 44 com o seu equipamento preaquecedor de calcário associado 45 fixado à ela. A finalidade da zona de preaquecimento 39 é remover calor do ar de escapamento que deixa o forno na extremidade inferior da zona de calcinação 41, ao mesmo tempo em que preaquece a pedra antes que ela alcance a extremidade superior da zona de calcinação. A presença do equipamento preaquecedor 45 permite de um modo geral que o comprimento do forno seja diminuído, assim como permite que seja obtida uma eficiência de operação mais alta. O preaquecedor 45 tem um duto de suprimento de calor 47 que é conectado através de uma rede de dutos ou tubulação adequada 49 em direção ao topo da cuba vertical 44, diretamente abaixo da zona de alimentação 37. A tubulação 49 que conecta o equipamento preaquecedor de calcário 45 à cuba vertical 44 comunica-se com o escapamento aquecido da extremidade inferior da zona de calcinação 41, o escapamento sendo conduzido por um ventilador 48. O gás de escapamento sendo introduzido no ponto 49 na figura 5 está geralmente na faixa de temperatura em torno de 232 a 288°C (450 a 550°F). No entanto, a temperatura na zona de preaquecimento (entre as linha imaginárias 37 e 39) em algum momento estende-se entre cerca de 1049 a 1093°C (1920 a 2000°F).

Esta faixa de temperatura encontrada na zona de preaquecimento do forno preaquecedor rotativo cai dentro da janela de temperatura relativamente estreita necessária para obter a redução máxima de NO_x com o mínimo "deslizamento" de NH_3 . Como foi mencionado resumidamente, o projeto do forno de cuba rotatória horizontal tradicional e o projeto do forno vertical não são bem adaptados à injeção de aditivo químico. Isto é porque a condição de temperatura ótima para a injeção do aditivo químico contendo nitrogênio está no meio dos fornos, tornando difícil assentar um duto de inje-

ção adequado. No forno preaquecedor rotativo, as condições de temperatura ótima existem imediatamente antes da zona de calcinação primária, quando os gases de combustão vão dentro do preaquecedor para aquecer a alimentação de calcário.

- 5 Continuando com a descrição do forno preaquecedor rotativo típico, a zona de calcinação 41 é localizada na extremidade inferior do vaso rotativo inclinado e inclui um queimador primário 46 alimentado por uma entrada de ar de combustão 53 em sua extremidade inferior. Gases de combustão são introduzidos através do duto de suprimento de combustível 54.
- 10 Uma fonte de ar de combustão 56 é suprida a partir da ventoinha 58. O duto de escapamento 60 supre gases de escapamento quentes para o preaquecedor 45.

A zona de calcinação tem uma extremidade superior que recebe a alimentação de pedra não processada que passa da zona de preaquecimento 39 e uma extremidade inferior. A pedra na extremidade elevada do vaso rotativo inclinado avança em direção a uma chama produzida pelo queimador primário 46 localizado na extremidade inferior do vaso rotativo inclinado onde o calcário é calcinado, transformando-se em cal virgem, e descarregada. A rotação do vaso auxilia na quebra do calcário e também

15 permite a distribuição de calor mais igual em todos os lados da pedra, ao proporcionar uma área de superfície maior para ser disponível ao aquecimento. A produção de cal virgem requer uma grande quantidade de calor que é gerado pelo uso do queimador primário.

20

A zona de calcinação 41 submete o calcário não processado a

25 temperaturas muito altas, causando a dissociação do carbonato de cálcio, com a resultante formação de óxido de cálcio. A temperatura mínima para a dissociação do carbonato de cálcio é em torno de 898°C (1648°F). No entanto, para finalidades de produção eficaz, a zona de calcinação 41 no forno preaquecedor rotativo terá temperaturas variando em torno de 1049 a

30 1371°C (1920 s 2500°F). A alimentação de calcário entrando na zona de preaquecimento 39 contata o gás de preaquecimento quente com cerca de 232 a 288°C (450 a 550°F). Quando o calcário alcança a parte inferior da

zona de preaquecimento 39, a temperatura da pedra aumentou para em torno de 1049 a 1093°C (1920 a 2000°F). À medida que o calcário avança ao longo do comprimento da cuba rotativa 23, a temperatura aumenta para cerca de 1371°C (2500°F). Uma vez completado o processo de calcinação, a cal virgem resultante passa através da zona de resfriamento e descarga 43, onde um suprimento de ar de resfriamento deixando a tubulação de suprimento resfria o produto cal virgem para cerca de 121°C (250°F).

Como foi discutido brevemente, um aperfeiçoamento que foi introduzido nas operações de fornos de cal do tipo acima descrito envolve a natureza dos gases sendo liberados pela operação de calcinação. Em contraste com os gases quentes da extremidade inferior da zona de calcinação 41 associados ao queimador primário, os gases liberados dentro do vaso rotativo são de temperatura muito mais baixa e frequentemente possuem mais alto peso molecular e densidade. Como resultado, estes gases tendem a se estratificar dentro do interior do vaso, com os gases liberados tendendo a permanecer próximos da parte inferior do forno. Também há substâncias inflamáveis usadas como combustível adicionado ao processo na porção intermediária do forno. Os gases liberados cobrem e protegem estes materiais inflamáveis do conteúdo de oxigênio nos gases nos níveis superiores da corrente de gás de forno. Este cobertor de gases de baixa temperatura também protege o leito de mineral do contato direto com os gases de combustão quentes.

A injeção de ar turbulento em um ponto ou pontos pré-selecionados no fluxo descendente da zona de preaquecimento, tal como o ponto 24, reduz a estratificação de gases de forno e aumenta a eficiência energética do forno. A tubulação de injeção pode ser diretamente conectada a uma ventoinha ou ventilador para distribuir o ar de alta velocidade e alta energia dentro da corrente de gás de forno. O componente rotacional resultante fornecido pelo ar injetado causa aos gases quentes que estavam passando ao longo do topo do forno serem forçados na direção descendente sobre o calcário calcinado, aumentando assim o cobertor de gases liberados frios.

Preferivelmente, o ar é injetado no vaso rotativo a uma velocidade de cerca de 100 a cerca de 30,48 metros a cerca de 304,8 metros por segundo (1000 pés por segundo), tipicamente de uma fonte de pressurização de ar proporcionando uma pressão estática maior que cerca de 0,10 atmosfera. O ponto de injeção é localizado preferivelmente em um ponto ao longo do comprimento da metade inferior do vaso rotativo, onde a diferença de temperatura entre os gases de forno e do mineral é a maior, para misturar o gás liberado do mineral com os gases de combustão provenientes do queimador primário. Preferivelmente, a proporção da corrente da massa de ar injetado é de cerca de 1 a cerca de 15% da proporção de massa de emprego de ar de combustão pelo forno.

No exemplo ilustrado esquematicamente na figura 5, o ar é injetado dentro do vaso rotativo através de um tubo de injeção de ar 26 estendendo-se de uma abertura na parede do vaso rotativo para dentro do vaso rotativo e terminando em um bocal para dirigir o ar injetado ao longo de um percurso predeterminado no vaso rotativo. Tipicamente, o ar é injetado para dentro do vaso rotativo através de dois ou mais bocais posicionados no vaso rotativo. O percurso do ar injetado é selecionado de modo a transmitir momento rotacional aos gases de combustão fluindo através do vaso rotativo.

O tubo de injeção é moldado para se comunicar com uma fonte de ar pressurizado, preferivelmente um ventilador, ventoinha, ou compressor capaz de proporcionar um diferencial de pressão estática maior que cerca de 0,10 atmosfera, preferivelmente maior que cerca de 0,20 atmosfera. O ventilador, ventoinha, ou compressor é dimensionado e movimentado de modo suficiente para distribuir continuamente ar injetado dentro do forno. O tamanho do orifício dos bicos de injeção de ar é selecionado de modo que a proporção de fluxo de massa de ar injetado na pressão estática aplicada seja de cerca de 1 a cerca de 15%, mais preferivelmente de cerca de 1 a cerca de 10% para dentro do vaso rotativo. A velocidade linear do ar injetado varia tipicamente de cerca de 30,48 metros por segundo (100 pés por segundo) a cerca de 304,8 metros por segundo (1000 pés por segundo). É fornecido um controlador para o ventilador ou compressor para ajustar a proporção de ar

injetado dentro do forno no ponto de injeção da corrente descendente. Uma discussão geral das técnicas de injeção de ar turbulento em fornos de processamento de mineral pode ser encontrada na Patente U.S. Número 6.672.865, publicada em 6 de janeiro de 2004, de Hansen e outros, e em referências similares.

Como foi mencionado, a presente invenção, em adição ao emprego do princípio geral de injeção de ar turbulento, também emprega uma técnica adicional para a redução de emissões de NO_x através da injeção de um aditivo químico contendo nitrogênio, tal como amônia ou precursores de amônia. A fonte preferencial de amônia ou precursor de amônia é qualquer fonte de suprimento convenientemente disponível, sendo preferivelmente selecionada do grupo consistindo em uréia, amônia e ácido cianúrico. Consequentemente, o objetivo geral da presente invenção é proporcionar um método para promover o aumento da redução de NO_x através da junção do controle de temperatura e uniformidade de composição de gás permitidos pela mistura de alta temperatura descrita acima com o uso de agentes de redução química, dentro de uma janela de temperatura ótima.

Os princípios gerais de introdução de aditivos contendo amônia na zona de calcinação de materiais granulados finos são ensinados em referências tais como a Patente U.S. Número 6.544.032, publicada em 8 de abril de 2003, e Patente U.S. Número 5.919.301. No entanto, estas referências não foram dirigidas especificamente a operação de forno de cal ou o projeto de forno de cal tipo preaquecedor. Como foi discutido brevemente, a amônia ou precursor de amônia é mais efetiva no aumento da redução de NO_x em um forno de cal preaquecedor rotativo quando injetada em um local e ponto de temperatura ótimos específicos no forno preaquecedor rotativo. Diferente do forno de cuba rotativa horizontal e do forno de cuba vertical, o forno preaquecedor rotativo tem acesso à faixa de temperatura ótima preferida para injeção de 871 a 1204°C (1600 a 2200°F) em uma localização longe do centro do forno.

Em razão da presença da seção preaquecedora neste tipo particular de projeto de forno, a injeção do aditivo químico pode ocorrer em uma

temperatura ótima entre as zonas onde os gases de combustão provenientes da zona de calcinação passam dentro da zona preaquecedora para aquecer o suprimento de calcário. A figura 2 é uma representação gráfica da janela de temperatura preferencial para o controle de emissão de NO_x através da injeção de uréia ilustrando o percentual de "deslizamento" de amônia. Como será observado no gráfico, a janela de temperatura preferencial está na faixa aproximada de 871 a 1204°C (1600 a 2200°F), mais preferivelmente em torno de 1049 a 1093°C (1920 a 2200°F). Como mostrado de modo esquemático na figura 5, o ponto de injeção preferencial está na região da cuba vertical na parte inferior da região de preaquecimento, na proximidade geral da extremidade superior da zona de calcinação.

A injeção da amônia ou de precursores de amônia pode ser introduzida através de rede de dutos adequada, tal como a rede de dutos mostrada na figura 5, disposta no local da janela de temperatura ótima pré-selecionada. O aditivo químico pode ser introduzido neste ponto soprando o aditivo seco através da rede de dutos 50 com um ventilador ou ventoinha adequada. De modo alternativo, a amônia ou precursor de amônia pode, em algumas situações, ser fornecido como uma solução líquida que é introduzida através de um bocal dentro do forno.

A presente invenção apresenta grande número de vantagens em relação às práticas atuais nas técnicas de processamento de forno de cal. A presente invenção proporciona um procedimento mais econômico para a redução de NO_x do que um sistema de redução não catalítico seletivo isolado. Pela introdução de uréia dentro do processo em um ponto ótimo no processo e a uma temperatura ótima, o calcário sendo calcinado receberá todos os benefícios da introdução de uréia sem o custoso equipamento necessário a um sistema de redução não-catalítica seletiva. O processo da invenção usa princípios de duas diferentes tecnologias de redução de NO_x de modo geral encontrados no processamento de mineral, porém aplica estes princípios no campo específico de fornos de calcário preaquecedores rotativos. Em razão da natureza específica do projeto do forno preaquecedor rotativo, o presente método é capaz de obter o máximo benefício da injeção de

aditivo químico junto com o benefício adicional da injeção de ar turbulento para maximizar na maior medida possível a redução em emissões de NO_x indesejáveis.

- 5 Ainda que a invenção tenha sido mostrada em apenas uma de suas formas, ela não é assim limitada, sendo susceptível a diversas mudanças e modificações sem se apartar do seu espírito.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para reduzir emissões de NO_x em um forno de calcário preaquecedor rotativo (35) dotado de uma zona de alimentação (37), uma zona de preaquecimento (39), uma zona de calcinação (41) e uma zona de resfriamento e de descarga (43), o método compreendendo as etapas de:

alimentar um suprimento de calcário à zona de alimentação (37);

mover o calcário através da zona de preaquecimento (39) tendo uma faixa de temperatura de preaquecimento para uma extremidade superior da zona de calcinação (41) onde o calcário é aquecido a uma temperatura e por um tempo suficientes à conversão do calcário em cal virgem;

introduzir uma fonte de amônia ou um precursor de amônia em um ponto (50) onde a temperatura no forno (35) está dentro de uma faixa de temperatura ótima, para obter o máximo de redução de NO_x com um mínimo de deslizamento de NH_3 ;

passar o calcário calcinado da zona de calcinação (41) para a zona de resfriamento e de descarga (43) e descarregar do forno (35) a cal virgem resultante; **caracterizado pelo** fato de que o ponto de temperatura ótima predeterminado é um ponto entre a zona de preaquecimento (39) e uma região primária da zona de calcinação (41) onde os gases de combustão da zona de calcinação (41) vão para dentro da zona de preaquecimento (39) para aquecer a alimentação de calcário, a temperatura ótima predeterminada neste ponto que está na faixa de 871 a 1204°C (1600 a 2200°F); e que o dito ar turbulento é injetado em um ponto ou pontos pré-selecionados (24) a jusante da zona de preaquecimento (39).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a fonte de amônia ou precursor de amônia é selecionada do grupo que consiste em uréia, amônia e ácido cianúrico.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado pelo** fato de que a zona de calcinação tem uma temperatura de calcinação na faixa de 1204 a 1371°C (2200 a 2500°F) e em que são introduzidos gases de preaquecimento na zona de preaquecimento em uma faixa de tempe-

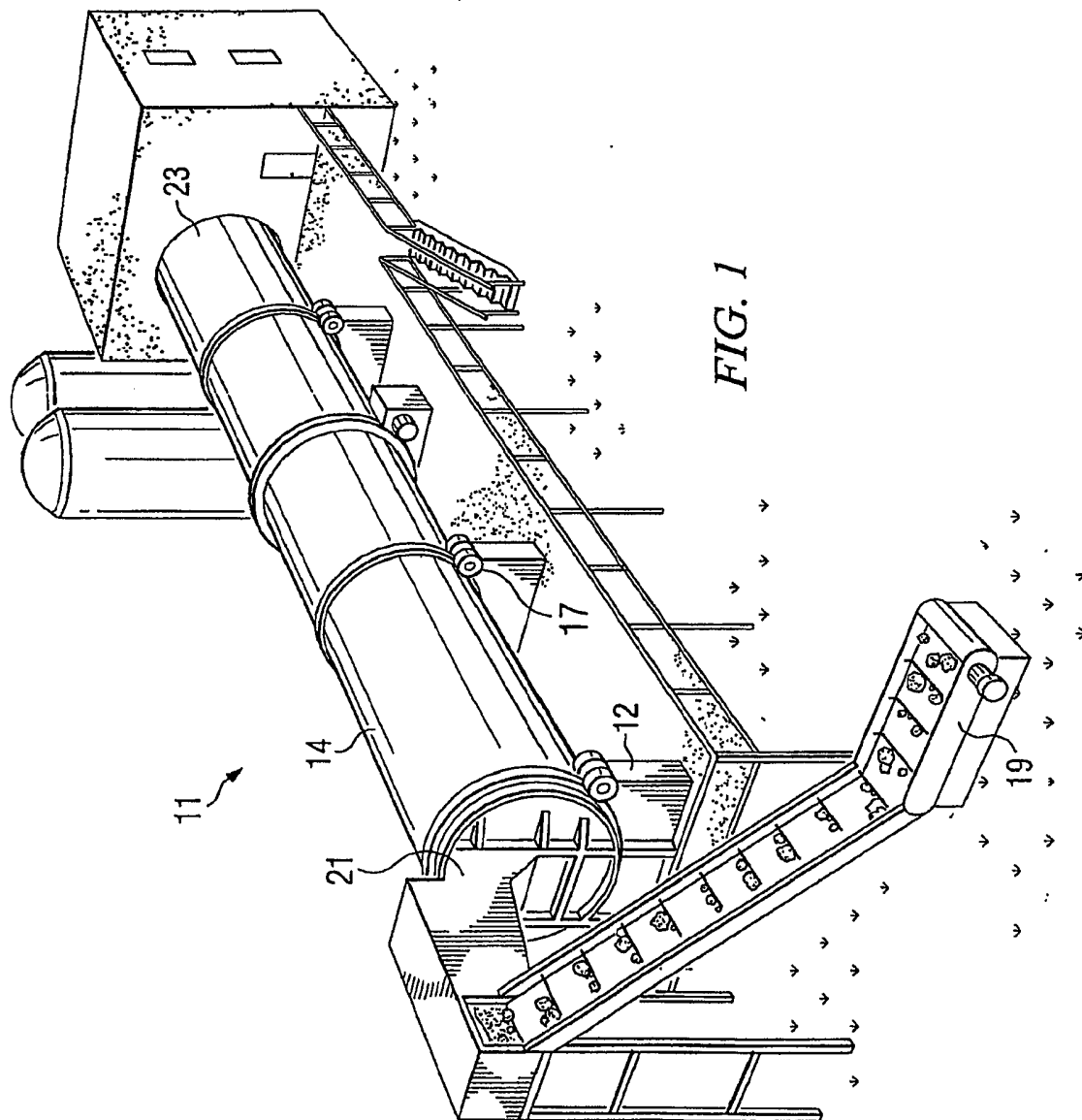
ratura de 232 a 288°C (450 a 550°F).

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo** fato de que a amônia ou precursor de amônia é um pó seco que é soprado dentro do forno (35) através de uma rede de dutos (50).

5 5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado pelo** fato de que a amônia ou precursor de amônia é uma solução líquida que é introduzida através de um bocal dentro do forno (35).

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado pelo** fato de que o forno inclui um vaso rotativo inclinado
10 dotado de uma extremidade superior e uma extremidade inferior, uma montagem de preaquecimento (47, 48, 49) conectada à extremidade superior do vaso rotativo e um queimador alimentado por uma entrada de ar de combustão (53) na extremidade inferior do vaso rotativo.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado pelo** fato de que a etapa de mover o calcário através da
15 zona de calcinação (41) libera CO₂ (dióxido de carbono) do calcário para converter o calcário em cal virgem.



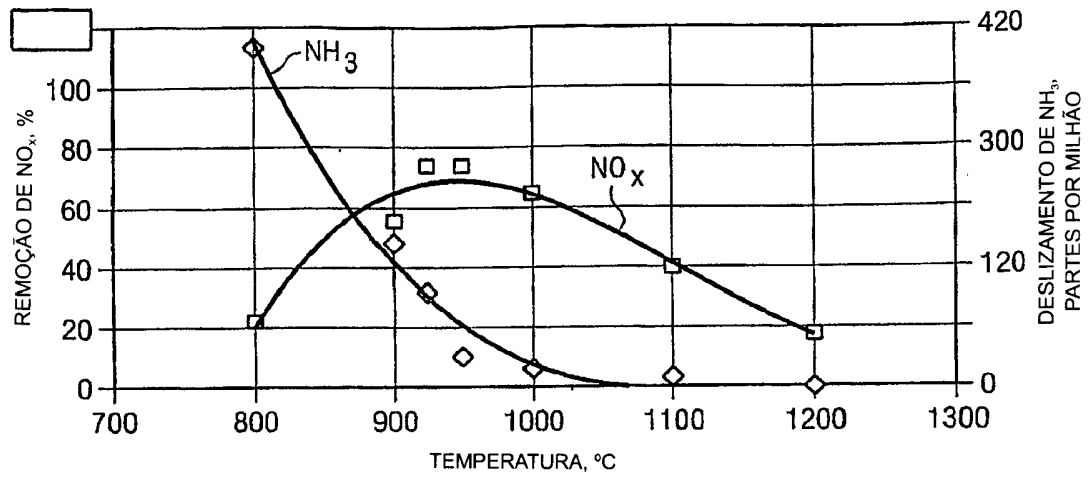


FIG. 2

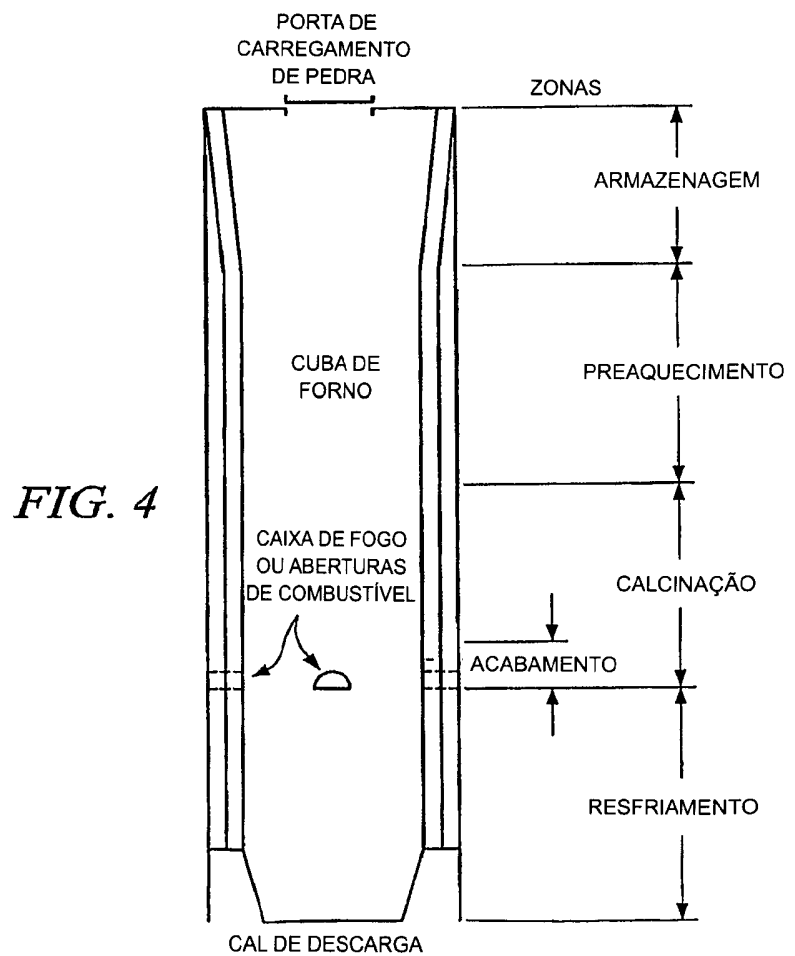
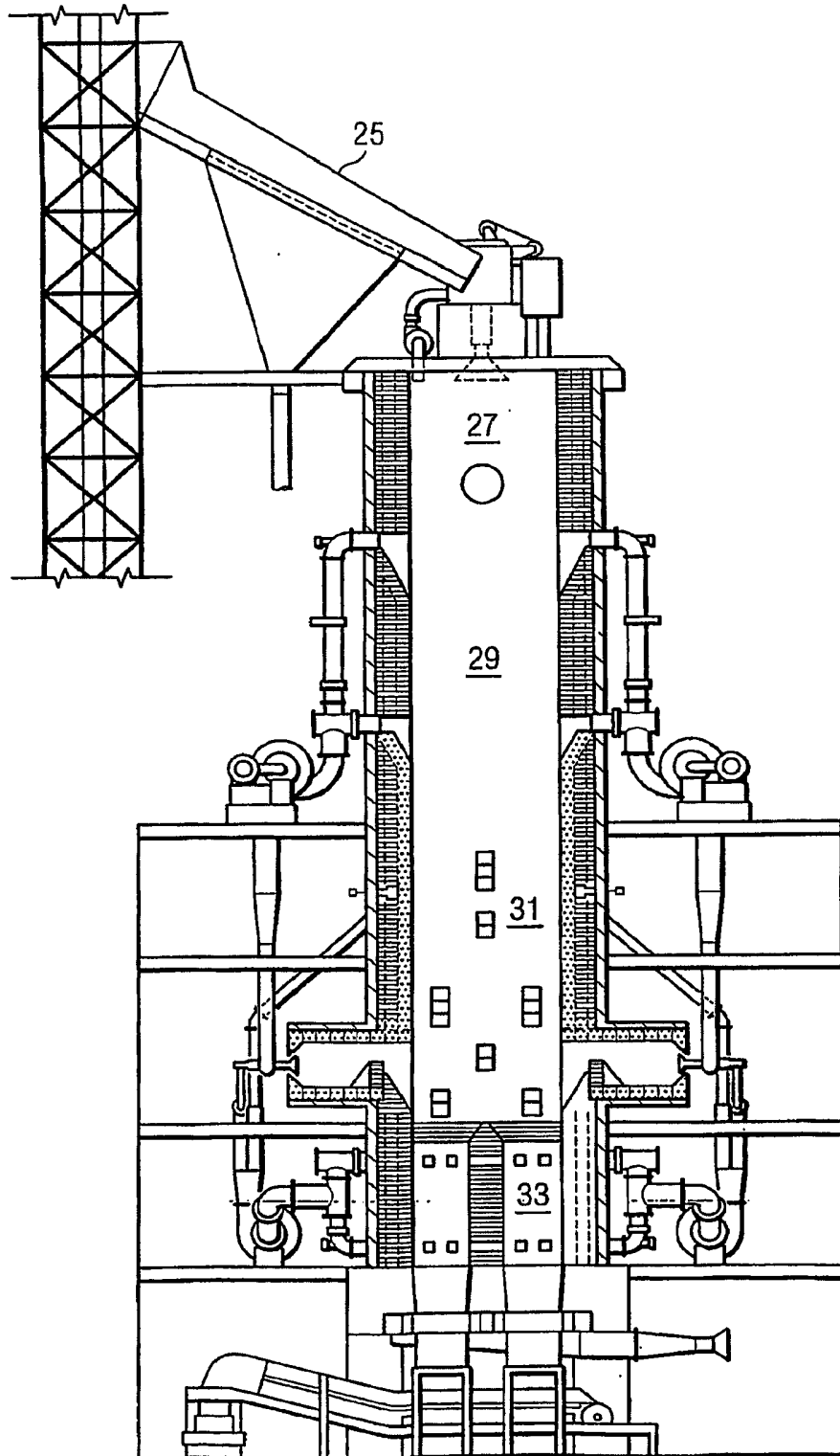


FIG. 4

*FIG. 3*

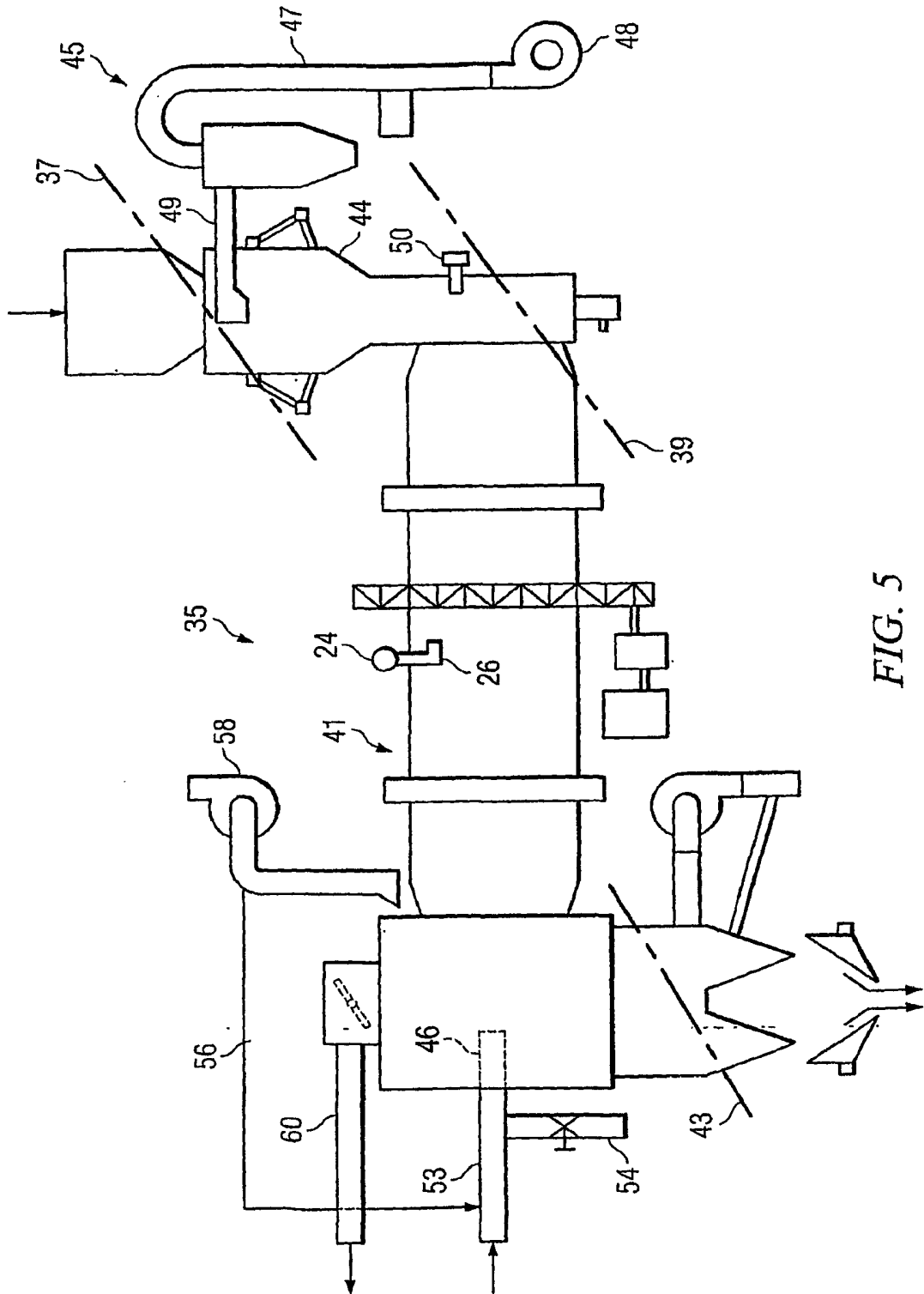


FIG. 5

RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO DE AUMENTO DE CONTROLE DE EMISSÕES DE NO_x EM FORNOS DE MINERAL PREAQUECEDORES ROTATIVOS"**.

5 A presente invenção refere-se a um método para promover o aumento da redução de NO_x em fornos de mineral preaquecedores rotativos (35) unindo o controle de temperatura e a uniformidade de composição de gás permitida pela mistura de alta temperatura com o uso de agentes químicos de redução. O agente ou agentes de redução química, geralmente esco-

10 lhidos de amônia ou de precursores de amônia, são introduzidos em um ponto específico (50) no forno preaquecedor rotativo (35) que tem como que uma janela de temperatura ótima para obter a maior redução de emissões de NO_x.