



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 355 356**

51 Int. Cl.:

F27B 7/36 (2006.01)

C04B 7/36 (2006.01)

F27D 7/02 (2006.01)

F27B 7/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01968836 .5**

96 Fecha de presentación : **12.09.2001**

97 Número de publicación de la solicitud: **1325273**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.07.2003**

54

Título: **Mezcla de gases a elevada temperatura en hornos de procesamiento de minerales.**

30

Prioridad: **11.09.2000 US 231663 P**
04.12.2000 US 251129 P
16.03.2001 US 276355 P

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.03.2011

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.03.2011

73

Titular/es:
CADENCE ENVIRONMENTAL ENERGY, Inc.
One Cadence Park Plaza
Michigan City, Indiana 46360, US
ASH GROVE CEMENT COMPANY

72

Inventor/es: **Hansen, Eric, R.;**
Supelak, Ralph, A.;
Tutt, James, Ronald y
Way, Peter, F.

74

Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 355 356 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Esta invención se refiere a un procedimiento para mejorar el funcionamiento, la eficacia y reducir las emisiones de hornos de procesamiento de minerales y en particular los hornos en los que el mineral procesado libera gas durante el procesamiento térmico. En particular, la invención se refiere a un procedimiento de mezcla de una corriente de gas procedente de horno a elevada temperatura en un reactor rotatorio de un horno de procesamiento de mineral para reducir las emisiones de contaminantes nocivos.

En el procedimiento comercial ampliamente usado para la fabricación del cemento, las etapas de secado, calcinación, y clinkerización de las materias primas del cemento se llevan a cabo haciendo pasar materias primas finamente divididas, que incluyen minerales calcáreos, sílice y alúmina, a través de un reactor u horno rotatorio inclinado calentado. En lo que se conoce como hornos convencionales largos de procesamiento por vía húmeda o seca, el procedimiento completo de calentamiento del mineral se lleva a cabo en el cilindro de un horno rotatorio calentado, denominado comúnmente como 'reactor rotatorio'. El reactor rotatorio tiene normalmente 10 a 15 pies (3-4,5 m aproximadamente) de diámetro y 200-700 pies (aproximadamente 60-210 m) de longitud y está inclinado de tal manera que, a medida que el reactor rota, las materias primas alimentadas en el extremo superior del cilindro del horno se mueven bajo la influencia de la gravedad hacia el extremo inferior "calentado" donde tiene lugar el proceso final de clinkerización y donde el producto clínker de cemento se descarga para el enfriamiento y posterior procesamiento. La temperatura del gas del horno en la zona de clinkerización calentada del horno varía desde aproximadamente 1300°C (~2400°F) a aproximadamente 2200°C (~4000°F). Las temperaturas de salida del gas del horno son tan bajas como de aproximadamente 250°C (~400°F) a 350°C (~650°F) en el extremo superior de recepción del mineral en los denominados hornos de vía húmeda. Existen temperaturas del gas del horno de hasta 1100°C (~2000°F) en el extremo superior de los hornos rotatorios de vía seca.

En general, los técnicos expertos consideran que el proceso de fabricación del cemento dentro del horno rotatorio se produce en varias etapas a medida que las materias primas fluyen desde el extremo más frío de salida de gas y alimentación de mineral hasta el extremo inferior calentado de salida de clínker del reactor del horno rotatorio. A medida que la materia mineral se desplaza por toda la longitud del horno, está sometida a temperaturas crecientes del gas del horno. De esta manera, en la parte superior del cilindro del horno, donde las temperaturas del gas del horno son más bajas, las materias minerales en proceso experimentan en primer lugar un proceso de secado/precalentado y a continuación se mueven hacia abajo en el cilindro del horno hasta que la temperatura aumenta hasta la temperatura de calcinación. La longitud del horno donde el mineral experimenta un proceso de calcinación (liberación de dióxido de carbono) se denomina zona de calcinación. El mineral en proceso se mueve finalmente hacia la parte final del horno hasta una zona donde las temperaturas del gas son más altas, la zona de clinkerización en el extremo inferior calentado del cilindro del horno. La corriente de gas del horno fluye en contracorriente de las materias minerales en proceso desde la zona de clinkerización, a través de la zona de calcinación intermedia y la zona de secado/precalentado del mineral y sale por el extremo superior de salida del gas del horno a un sistema de recogida del polvo del horno. El flujo de los gases del horno se puede controlar a través del horno en cierta extensión mediante un ventilador de tiro inducido situado en la corriente de gas de salida del horno. Durante los últimos 10-20 años, los hornos de cemento con precalentador/precalcinador han demostrado de manera extremadamente significativa ser más eficaces energéticamente que los hornos largos tradicionales. En los hornos con precalcinador, la alimentación de mineral bruto se calienta a temperaturas de calcinación en un reactor precalcinador contracorriente estacionario antes de que este caiga en un reactor rotatorio calentado para las reacciones de clinkerización a temperaturas más elevadas.

Debido a la sensibilización hacia las cuestiones ambientales y a normas de regulación de emisiones más rigurosas, la industria de procesamiento de minerales ha dedicado un significativo esfuerzo de investigación y desarrollo para reducir las emisiones de los hornos de procesamiento de cemento y otros minerales.

De esta manera, vista desde un aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento de mezcla de una corriente de gas de un horno a elevada temperatura en un reactor rotatorio de un horno de procesamiento de mineral que funciona con el fin de reducir las emisiones de contaminantes nocivos, teniendo dicho horno una pared cilíndrica y un extremo de entrada de aire de combustión y un extremo de salida de gas del horno, teniendo dicha corriente de gas del horno múltiples componentes gaseosos constituidos esencialmente por los productos de combustión del combustible quemado en un aire de combustión que comprende un gas que contiene oxígeno, caracterizándose dicho procedimiento por la etapa de inyectar aire desde una fuente presurizada en la corriente de gas del horno mediante un sistema de inyección que comprende un tubo que termina en un puerto de inyección en el reactor y separado con respecto de pared del reactor y del eje de rotación del horno, seleccionándose la presión del aire y el tamaño del puerto de tal manera que el aire inyectado se suministra a través del puerto a un caudal másico de menos del 15% del gasto máximo de consumo del aire de combustión y se dirige para hacer impacto en la corriente de gas del horno en el horno para impartir un momento de rotación a la corriente de gas del horno.

El procedimiento de la invención puede mejorar por tanto la eficacia térmica y reducir la emisión de contaminantes gaseosos durante la fabricación de productos minerales procesados térmicamente tales como cemento y

piedra caliza.

La invención encuentra aplicación en los denominados hornos largos de procesamiento de mineral y, en el caso de la fabricación del cemento, en los hornos con precalcinador, reconocidos ya por su eficacia energética en la producción de clínker de cemento. El horno puede ser un horno de cemento con precalcinador para producir clínker de cemento a partir de una alimentación de mineral, comprendiendo dicho horno con precalcinador un reactor rotatorio calentado con un quemador primario, y un reactor con precalcinador estacionario en comunicación fluidica de gas y mineral con el reactor rotatorio, teniendo el flujo de gas del horno múltiples componentes gaseosos constituidos esencialmente por los productos de combustión del combustible quemado en un aire de combustión que comprende un gas que contiene oxígeno, teniendo el reactor estacionario una pared cilíndrica y un extremo de entrada de aire de combustión y un extremo de salida del gas del horno, y teniendo un quemador secundario; comprendiendo dicho horno un sistema de inyección de aire que comprende un tubo que termina en un puerto de inyección situado en dicho reactor estacionario separado tanto de la pared del reactor como del eje de rotación del horno, seleccionándose la presión del aire y el tamaño del puerto de tal manera que el aire inyectado se suministra a través del puerto a un caudal másico de menos del 15% del gasto másico de consumo del aire de combustión y se dirige para hacer impacto en la corriente de gas del horno en el horno para impartir un momento de rotación a la corriente de gas del horno.

En un procedimiento preferido según la invención, la temperatura del gas del horno es mayor de 982°C (1800°F) y el aire inyectado se inyecta desde una fuente presurizada que proporciona una presión estática mayor de 0,20 atm (20,26 kPa).

En una realización preferida adicional, la invención proporciona un procedimiento para reducir los NOx en la corriente de gas efluente de un horno de cemento rotatorio largo modificado para quemar combustible suplementario que comprende un reactor cilíndrico inclinado que rota alrededor de su eje longitudinal y que tiene una pared cilíndrica, calentándose el reactor por su extremo inferior y cargándose con materia mineral bruta por el extremo superior y teniendo una corriente de gas del horno que fluye desde el extremo inferior calentado que tiene un quemador primario y un extremo de entrada de aire de combustión a través del extremo superior, formando la materia mineral un lecho de mineral que fluye a una profundidad máxima H bajo la influencia de la gravedad en el reactor en contracorriente respecto de la corriente de gas del horno desde una zona de secado en la parte más superior del reactor rotatorio, a través de una zona de calcinación intermedia, y hasta una zona de clinkerización a elevada temperatura antes de salir por el extremo inferior como clínker de cemento, y en el que el combustible suplementario se carga en el reactor a través de un puerto en la pared del reactor para quemarse en contacto con la materia mineral de calcinación en una zona de combustión secundaria, comprendiendo el procedimiento:

inyectar aire desde una fuente presurizada de aire que proporciona una presión estática de más de 0,15 atm (15,20 kPa), con el fin de reducir la estratificación del gas liberado desde el lecho de mineral con los gases de combustión del quemador primario, y a un gasto de aproximadamente 1% a aproximadamente 10% de la masa del aire total de combustión usado durante el funcionamiento del horno, a través de un tubo de inyección de aire que se extiende desde un puerto en el reactor y que termina en una boquilla para dirigir el aire inyectado a lo largo de una ruta predeterminada a una velocidad de aproximadamente 100 a aproximadamente 1000 pies (aproximadamente 30-300 m) por segundo, estando dicho puerto del reactor en un punto aguas abajo con respecto al flujo de gas del horno de la zona de clinkerización y aguas arriba con respecto al flujo de gas del horno del extremo superior de la zona de calcinación, y en el que la boquilla está situada en el reactor a una distancia de aproximadamente H a aproximadamente 2H de la pared del reactor y la ruta predeterminada del aire inyectado forma un ángulo de más de 45° con un segmento lineal paralelo al eje de rotación y se extiende desde el punto de inyección a través del extremo de entrada del mineral del reactor.

En un procedimiento adicional preferido según la invención para reducir las emisiones de NOx y mejorar la eficacia de la combustión en un horno de cemento con precalcinador para producir clínker de cemento a partir de una alimentación de mineral, teniendo dicho horno con precalcinador una parte del reactor rotatorio calentada por un quemador primario y una parte del reactor con precalcinador estacionario calentada por un quemador secundario, suministrándose a cada uno de dicho quemador primario y la parte con el precalcinador cantidades controladas de aire de combustión precalentado, y en el que dichos gases de combustión del horno con precalcinador procedentes del quemador primario fluyen a través del reactor rotatorio, la parte del reactor con precalcinador, y a una serie de ciclones en comunicación en contracorriente con la alimentación de mineral, se inyecta aire presurizado en la parte del reactor con precalcinador de dicho horno en un punto anterior al primer ciclón, a un gasto másico que corresponde a un 1% a aproximadamente 7% del aire total de combustión y a una velocidad de aproximadamente 100 a aproximadamente 1000 pies (aproximadamente 30-300 m) por segundo y dirigida de tal manera que haga impacto en la corriente de gas del horno en el horno para impartir un momento de rotación a la corriente del gas de combustión del horno con precalcinador.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las Figuras 1-4 son similares e ilustran diagramas parcialmente separados de los hornos de procesamiento de minerales usados según la presente invención para la inyección de aire de mezclado a elevada velocidad en el interior del reactor rotatorio.

5 Las Figuras 5, 6 y 7 son vistas en sección transversal similares de los hornos rotatorios usados según las realizaciones alternativas de la presente invención para suministrar el aire de mezclado a elevada velocidad en el interior del reactor rotatorio.

Las Figuras 7a son una vista en planta parcialmente separada del ventilador de las Figuras 7 a lo largo de las líneas AA.

10 Las Figuras 8a y 8b ilustran las configuraciones alternativas de orificios de boquillas.

Las Figuras 9a y 9b ilustran modelos de flujo en un horno de cemento sin aire inyectado a elevada velocidad (9a) y con aire inyectado a elevada velocidad según la invención (9b) aguas arriba de un equipo de suministro (no se muestra) de combustible suplementario neumáticos.

15 Las Figuras 10a y 10b son similares e ilustran la estequiometría de la combustión del quemador primario sin inyección de aire a elevada velocidad (10a) y con un 10% de aire inyectado a elevada velocidad (10b).

La Figura 11 es similar a la Figura 10 y muestra la estequiometría de la combustión en tres zonas en un horno que funciona con un 15% de combustible suplementario suministrado al horno aguas arriba de la inyección de un 10% de aire a elevada velocidad.

20 La Figura 12 es similar a la Figura 11 e ilustra la estequiometría de la combustión del combustible del horno en el que el horno está modificado para quemar combustible suplementario y para la inyección de aire a elevada velocidad aguas arriba y aguas abajo del punto de suministro de combustible en el interior del reactor rotatorio.

La Figura 13 ilustra los efectos del aire inyectado a elevada velocidad en el flujo de gas del horno en el horno ilustrado en la Figura 12.

25 La Figura 14 es una vista en sección transversal de un reactor de horno rotatorio que contiene un mineral en proceso que libera gas (dióxido de carbono).

La Figura 15 es similar a la Figura 14 que muestra la mezcla de gases de horno mediante la inyección de aire a elevada velocidad en el interior del reactor rotatorio.

La Figura 16 ilustra la transferencia de energía radiante de una materia en proceso en ausencia de una capa estratificada de gases liberados desde un lecho de mineral.

30 Las Figuras 17-20 ilustran en forma de diagrama varias configuraciones de reactores con precalcinador estacionario comercialmente disponibles con "flechas" que ilustran puntos para la inyección de aire a elevada velocidad para promover la mezcla en los reactores estacionarios con aire inyectado a elevada velocidad.

35 Las Figuras 21 y 22 son similares a las Figuras 1-4 e ilustran diagramas parcialmente separados de hornos de procesamiento de minerales modificados para la inyección de aire con representaciones en forma de diagrama de los dispositivos de vigilancia y controladores del gas del horno para la inyección de aire y la inyección de gas en forma de vapor o fluido.

La Figura 23 es una vista en elevación parcialmente separada de la parte del extremo superior del reactor rotatorio de un horno con precalcinador modificado para la inyección de aire y el suministro de combustible suplementario para la reducción de los NOx.

40 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES ILUSTRADAS

45 Según la presente invención, se inyecta aire en el interior del horno rotatorio de procesamiento de mineral para suministrar energía a los gases del horno a fin de conseguir la mezcla transversal. Esta invención proporciona la inyección de aire con el fin de eliminar la estratificación de los gases en un horno que durante el funcionamiento está procesando un mineral que libera un gas a medida que se procesa, tal como los hornos que procesan piedra caliza, mezcla bruta de cemento, arcillas como en los hornos que procesan agregados de poco peso, y hornos de taconita. El objetivo principal del aire inyectado es proporcionar energía para mezclar los gases que se están liberando desde el mineral en proceso con los gases de combustión que llegan desde la zona de combustión del horno y, según esto, existe una multiplicidad de elementos especificados para esta invención que cooperan en todo o en parte para conseguir el

efecto de mezcla transversal del gas del horno que proporciona las ventajas conseguidas con el uso de la invención en una amplia variedad de hornos de procesamiento de minerales.

5 La presente invención especifica la inyección de aire con el fin de reducir o eliminar la estratificación de los gases en el horno. Un horno típico tiene de 2,44 m (ocho pies) a aproximadamente 4,10 m (veinte pies) de diámetro y tiene unas relaciones de longitud a diámetro de 10:1 a aproximadamente 40:1. Normalmente, las materias calcinadas son materias primas de cemento Portland, arcillas, piedra caliza, taconita, y otras materias minerales que se procesan térmicamente y liberan gases tras el calentamiento. El objetivo del aire inyectado en esta invención es proporcionar energía para la mezcla transversal; el aire tiene poca, si acaso tiene alguna, función de proporcionar oxígeno para la combustión. Es habitual en los hornos de procesamiento de minerales, hornos de tipo cemento y caliza, el control del contenido de oxígeno en los gases de salida a fin de bajar el nivel tanto como sea práctico y evitar además la formación de cantidades significativas de monóxido de carbono y dióxido de azufre. Es deseable trabajar de esta manera para maximizar la eficacia térmica. La eficacia térmica se puede ver afectada adversamente trabajando con demasiado poco aire de combustión, lo que da como resultado una combustión incompleta del combustible, o con exceso de aire de combustión, lo que da como resultado un incremento de las pérdidas de calor.

10 15 Es deseable introducir el aire de combustión para el procesamiento del mineral a través de un recuperador de calor que recupera el calor procedente del producto mineral procesado descargado desde el horno. El calor recuperado en el aire de combustión de entrada puede ser una parte sustancial de la energía total suministrada al proceso. La inyección de aire ambiente en la corriente de gas del horno, en una localización diferente de la de la zona de combustión primaria no se consideraría normalmente favorable debido al impacto negativo que puede tener sobre la recuperación de calor; el aire inherentemente inyectado se sustituye por un tiro de aire de combustión a través del recuperador de calor.

20 25 La modelización informática de los hornos de calcinación desveló que los gases que se estaban liberando por el mineral que se estaba procesando permanecían estratificados en el horno. En comparación con los gases calientes que llegan desde la zona de combustión primaria en el extremo de descarga de materia de los hornos de procesamiento de minerales en contracorriente, los gases liberados tienen mucha menos temperatura y a menudo un mayor peso molecular y mucha más densidad. Como resultado de esta diferencia en la densidad, estos gases liberados permanecen en la parte inferior del horno. Adicionalmente a los gases liberados procedentes de la materia de calcinación, puede haber también sustancias combustibles liberadas tanto desde la alimentación de mineral como desde el combustible añadido al proceso en la parte intermedia del horno. Los gases liberados envuelven y separan estas materias combustibles del oxígeno contenido en los gases en los niveles superiores de la corriente de gas del horno. Esta envoltura de gases a baja temperatura protege también el lecho de mineral del contacto directo con los gases de combustión calientes. Por tanto, el proceso necesita usar un procedimiento indirecto de calentamiento. Las paredes del horno se calientan por los gases de combustión calientes y la rotación del horno da como resultado el contacto de las paredes calientes con el lecho de mineral. Por medio de esta invención, una pequeña parte del aire total del proceso, menos del 15 por ciento, se inyecta en el reactor rotatorio de manera que produzca un componente de rotación sobre el momento de la corriente de gas del horno en el horno. Este componente de rotación da como resultado que se haga bajar a los gases calientes que se desplazan a lo largo de la parte superior del horno hacia el lecho de mineral de calcinación, eliminando de manera forzada la envoltura de gases liberados fríos. Esto pone en contacto los gases calientes con el lecho de mineral añadiendo otro mecanismo de transferencia, mejorado de esta manera la eficacia del proceso en el horno.

30 35 40 45 La energía cinética del aire inyectado y el momento de rotación resultante dan como resultado que los gases liberados se mezclen con los gases de combustión calientes y algo de oxígeno residual de estos gases y del aire inyectado. Esta mezcla transversal da como resultado la oxidación de los componentes del combustible que pueden haber estado contenidos en la envoltura de gas. Por tanto, se pueden reducir las emisiones de los componentes sin quemar, tipo monóxido de carbono, dióxido de azufre, e hidrocarburos a un nivel de aire en exceso dado. O, se pueden mantener los niveles de emisión anteriores a un reducido nivel de aire en exceso, lo que da como resultado una mejora en la eficacia del proceso. Las ventajas del nuevo mecanismo de transferencia de calor y la reducción del aire en exceso mitigan el impacto negativo de la recuperación de calor procedente de la parte de aire que se deriva del recuperador.

50 55 El mecanismo de inyección de aire de esta invención se localiza en un punto a lo largo del horno donde existe una significativa diferencia entre la temperatura del gas de combustión y la temperatura del lecho de mineral. Normalmente, ésta sería una localización en el horno tan cercana a la zona de combustión como sea práctico, limitada por el límite de la temperatura de servicio del equipo, que se espera sea de 1538°C (2800°F), en una posición en el extremo del enfriador de la zona de calcinación limitada por una temperatura adecuada para permitir que se produzca la combustión tras la mezcla, de aproximadamente de 871°C a aproximadamente 1010°C (aproximadamente 1600°F a aproximadamente 1850°F). En una realización de la invención, el tubo de inyección de aire se localiza en la parte intermedia más caliente (la mitad inferior) del reactor rotatorio. Dada la naturaleza de la mayoría de minerales calcinados en los hornos rotatorios, se obtendrán ventajas instalando el equipo en la zona de calcinación para deshacer y eliminar la estratificación. Se puede colocar también el equipo en el extremo inferior donde el mineral está casi completamente calcinado, para interrumpir la formación de la envoltura gaseosa de alta densidad del mineral en proceso. Se pueden

localizar múltiples tubos de inyección de aire, desplazados bien de manera perimetral, desplazados de manera axial, o desplazados bien de manera axial y perimetral, en el horno. Cada uno de ellos se puede conectar a un ventilador, soplante o compresor o pueden estar en comunicación fluida con la inyección de aire con un manguito presurizado.

5 También es posible aprovechar el contenido de oxígeno en el aire inyectado para crear una combustión por etapas con el fin de controlar los óxidos de nitrógeno. Debido a la recuperación de energía perdida en el aire de combustión reseñada anteriormente, la combustión por etapas en hornos rotatorios de procesamiento de minerales no es práctica debido a la elevada penalización energética. Los hornos rotatorios, tales como incineradores u hornos de procesamiento de coque, pueden realizar la combustión por etapas, pero dichos hornos no tienen una elevada cantidad de energía recuperable en su producto de descarga y por tanto no tienen las limitaciones funcionales de los hornos de procesamiento de minerales. También, debido a la mejora en la eficacia de la combustión, se requiere menos aire en exceso para conseguir una combustión completa. La mejora de la mezcla y la ausencia de estratificación en la combustión en el horno permitirán la consecución de la combustión por etapas con cantidades de aire en exceso que no afectan excesivamente los requerimientos de energía del proceso. La inyección de alta energía de aire para la mezcla transversal permite el uso de la combustión por etapas en hornos de procesamiento de minerales con el fin de controlar las emisiones.

10 Con referencia a las Figuras 1-4, los hornos de procesamiento de minerales 10 incluyen un reactor rotatorio 12 que tiene una pared cilíndrica 14, un extremo inferior de entrada de aire de combustión/quemador 16 y un extremo superior de salida del gas 18. En funcionamiento, se suministra mineral bruto a través de la entrada 20 en el extremo de salida del gas 18 y con rotación del reactor rotatorio 12, el lecho de mineral se mueve desde el extremo de salida del gas 18 hacia el extremo de entrada de aire/quemador 16 fluyendo en contracorriente a los productos de combustión que forman la corriente de gas del horno. Se suministra al quemador 24 una fuente primaria de combustible 26, y el aire de combustión se introduce desde el recuperador de calor 30 a través de la campana 28 en el extremo de entrada del aire de combustión. El mineral procesado sale por el extremo de entrada del aire de combustión 16 y se suministra al recuperador de calor 30. Uno o más tubos de inyección de aire 32 en comunicación fluida con un ventilador, soplante o compresor 34 se encuentran a lo largo de la longitud del reactor rotatorio 12 en los puntos donde el mineral en proceso en el lecho de mineral 22 está calcinándose o donde las diferencias de temperatura entre la corriente de gas del horno y el lecho de mineral son más extremas, lo más normal en la parte intermedia más inferior del reactor rotatorio 12, la parte más próxima al extremo de entrada del aire de combustión/quemador 16 que la del extremo de salida del gas 18. Los tubos de inyección de aire 32 terminan en el reactor rotatorio como una boquilla 26 situada para dirigir el aire inyectado a lo largo de una ruta diseñada para impartir un momento de rotación en la corriente de gas del horno. El orificio 38 en la boquilla 36, en una realización de la invención, tiene una relación de aspecto mayor de uno (véanse las Figuras 8a y 8b que ilustran los orificios de la sección transversal rectangular).

20 Con referencia a las Figuras 3 y 4, se puede modificar el horno de procesamiento de mineral adicionalmente para quemar combustible suplementario suministrado desde la fuente de combustible suplementario 40 a través de un dispositivo de suministro de combustible 42 en el interior del reactor rotatorio para quemar en contacto con el mineral en proceso en el lecho de mineral 22. En una realización de la invención, se inyecta aire a fin de impartir un momento de rotación a la corriente de gas del horno en un punto entre el dispositivo de suministro de combustible 42 y el extremo de entrada del aire en combustión/quemador 16. Opcionalmente, se inyecta aire en uno o más puntos adicionales del reactor rotatorio 12 entre el dispositivo de suministro de combustible suplementario 42 y el extremo de salida del gas 18.

25 Con referencia a las Figuras 5 y 6, dos o más tubos de inyección de aire 32 pueden estar en forma perimetral (o axialmente) en la pared cilíndrica 14 del reactor rotatorio 12. Se suministra aire presurizado a los tubos de inyección mediante un ventilador o soplante 34 en comunicación fluida de aire a través del manguito 46. Alternativamente, según se representa en la Figura 7, cada tubo de inyección puede estar conectado directamente a un soplante o ventilador 34 para suministrar aire de alta energía/velocidad en el interior de la corriente de gas del horno. Los tubos de inyección de aire 34 terminan en el horno en un punto entre la parte superior del lecho de mineral 22 y el eje de rotación del reactor rotatorio 12 en forma de una boquilla para dirigir el aire inyectado de alta energía 50 en el interior del reactor rotatorio para impartir un momento de rotación a la corriente de gas del horno.

30 Con referencia a la Figura 9b, al inyectar aire de alta energía en el interior del horno para producir un momento de rotación en la corriente de gas del horno, los elementos del combustible suplementario 52 que se queman en la corriente de gas del horno se aclaran continuamente de sus propios productos de combustión y se ponen en contacto con los gases mezclados del horno con el fin de proporcionar más condiciones favorables para la combustión y la transferencia de energía.

35 Con referencia a las Figuras 14 y 15, la inyección de aire de mezclado de alta energía eficaz para impartir un momento de rotación en la corriente de gas del horno funciona para disipar las capas estratificadas producidas, por ejemplo, calcinando el mineral en el lecho de mineral 22. Con la eliminación o disipación de los estratos más densos de dióxido de carbono que recubren normalmente el lecho de mineral 22, la energía radiante procedente de la corriente de gas del horno y de las paredes cilíndricas 14 del reactor rotatorio 12 alcanza el lecho para permitir una transferencia de

energía más eficaz entre la corriente de gas del horno y el mineral del proceso final (véase la Figura 16).

Con referencia a las Figuras 17 a 20 que ilustran varias configuraciones de las porciones estacionarias de los hornos con precalentador/precalcinador, hay indicados puntos 70 para la inyección de aire a alta presión en las partes estacionarias con el fin de crear bien flujo turbulento bien momento de rotación en la corriente de gas que fluye a través de las partes estacionarias. De esta manera, se puede inyectar aire a alta presión/energía, por ejemplo, desde un compresor, a través de una o más boquillas localizadas en las paredes de la parte estacionaria de un horno con precalentador/precalcinador para proporcionar energía de mezclado con la consiguiente reducción de contaminantes asociada con la estratificación y la heterogeneidad de la combustión localizadas en dicho equipo del precalcinador.

En una realización de la invención, en referencia a las Figuras 21 y 22, se vigila la corriente de gas del horno en los contenidos/perfil de emisiones a fin de proporcionar las señales características de dicho perfil de emisión con el fin de introducir uno o más controladores en el horno incluyendo un controlador de inyección de aire o un controlador de inyección de aire y un controlador para inyectar vapor o gas de combustión en la corriente de gas del horno para proporcionar una estabilidad térmica a la corriente de gas del horno.

En una aplicación de la presente invención ilustrada en la Figura 23, se sitúan unidades inyectoras de aire 31 a menos de dos diámetros del horno del extremo de salida del gas 18 del reactor rotatorio 12 en una fuente de horno con precalentador/precalcinador. La temperatura de la corriente de gas del horno en el punto de inyección de aire es de aproximadamente 1204°C a aproximadamente 982°C (aproximadamente 2200 a aproximadamente 1800°F). Se pulveriza combustible suplementario 58 desde el tubo de suministro de combustible suplementario 60 conectado a una fuente de combustible 62 para crear condiciones de reducción en la corriente de gas del horno mezclada con aire de inyección de alta energía en el extremo de salida del gas 18 del reactor rotatorio 12 para efectuar la reducción de emisiones de NOx procedentes del horno con precalentador/precalcinador.

Ejemplo 1

Horno de caliza de combustión por etapas

Se puede llevar a cabo la combustión por etapas mediante diversos medios. Por ejemplo, un horno está funcionando con aproximadamente cero a cinco por ciento del aire en exceso que se requiere para la combustión. Con este nivel de aire en exceso, se producen algo de monóxido de carbono y dióxido de azufre residuales. La reducción adicional de aire en exceso en la zona de combustión para reducir la formación de óxidos de nitrógeno daría como resultado la emisión indeseable de monóxido de carbono y dióxido de azufre y la pérdida de la eficacia térmica debido a la combustión incompleta del combustible. Instalando el equipo de la invención y con una inyección del 10% del aire de combustión total del proceso, el aire disponible en la zona de combustión primaria sería insuficiente para efectuar la combustión completa del combustible, y los gases que salen de esta zona tendrían concentraciones significativas de monóxido de carbono y otras especies que son productos de una combustión incompleta. Los óxidos de nitrógeno se reducen incluso aunque la zona de combustión primaria permanezca a elevada temperatura debido a que los productos de la combustión incompleta extraen preferentemente el oxígeno disponible o pueden incluso extraer el oxígeno del óxido de nitrógeno.

Debido a que el flujo total de aire que permanece es del 100-150% del necesario para la combustión, la inyección de un 10% en la parte intermedia del horno daría como resultado únicamente un 90-95% del aire de combustión requerido en la zona de combustión primaria. Se inyecta el aire adicional en una zona de temperatura del horno donde este sigue estando lo suficientemente caliente para completar rápidamente la combustión cuando el oxígeno disponible vuelve a estar disponible pero no tan caliente como para formar óxidos de nitrógeno. Se inyecta el 10% del aire de combustión con suficiente energía para mezclar transversalmente el gas de combustión en el horno. Esto da como resultado un 0-5% de aire en exceso del requerido para la combustión, lo cual minimiza el monóxido de carbono y el dióxido de azufre residuales. Esta zona de mezcla no está a temperatura tan elevada como la zona de combustión primaria, por tanto, no se forman óxidos de nitrógeno incluso aunque exista ahora oxígeno en exceso en esta zona.

Ejemplo 2

Se describe el uso de aire de mezclado para mejorar la eficacia de la combustión en la Patente de los Estados Unidos Nº 5.632.616, que reivindica el uso de aire de mezclado junto con la combustión en la parte intermedia del horno. El uso de una inyección tangencial de aire de alta energía para crear un componente de rotación del gas en volumen en el horno mejora la eficacia del aire de mezclado cuando la inyección se produce aguas arriba (pendiente abajo) del punto de inyección del combustible.

Ejemplo 3

El concepto de aire de mezclado se desarrolló como resultado de la identificación de la estratificación de los

gases en el horno. El dióxido de carbono más pesado y los gases de pirólisis forman el combustible de la parte intermedia del horno que permanecerá estratificado en la parte inferior del horno y los gases que contienen oxígeno a elevada temperatura se estratifican en la parte superior.

5 La mezcla transversal obtenida mediante el procedimiento de inyección del aire de mezclado permite reducir a cenizas los productos residuales de la combustión incompleta cuando el dispositivo se coloca aguas abajo (pendiente arriba) de punto de inyección del combustible. Para la reducción del óxido de nitrógeno, es esencial conseguir la mezcla transversal de los gases mientras está agotado el oxígeno contenido en los mismos. Por tanto, se instala un sistema de aire de mezclado aguas arriba (pendiente abajo) procedente del punto de combustión en la parte intermedia del horno para impartir un momento de rotación a los gases del horno con el fin de mezclar la fuente de la combustión y pirolizar el combustible a través de los gases del horno.

10 El sistema de horno ideal debería tener dos sistemas de inyección de aire, uno aguas arriba de la inyección de combustible en la parte intermedia del horno para conseguir la mezcla transversal mientras que se agota el oxígeno de los gases del horno, y otro aguas abajo para conseguir la mezcla transversal con el aire inyectado con el fin de reducir a cenizas cualquier producto residual de la combustión incompleta.

15 Los ejemplos sugieren que el aire de combustión es un 5% menor que el suficiente para completar la combustión en la zona de reducción. En la práctica, debería esperarse alcanzar solo un 1 o 2% de deficiencia en el aire de combustión, lo que sería suficiente para controlar las emisiones de óxido de nitrógeno.

Ejemplo 4

20 Se puede aplicar también el uso de una pequeña cantidad de aire inyectado a alta presión para mejorar la mezcla en hornos de cemento con precalcinador. Los hornos de cemento con precalcinador utilizan combustión secundaria y se pueden modificar para introducir algo de aire de combustión después de la zona de combustión secundaria para crear la combustión por etapas. Sin embargo, dichas modificaciones son costosas. También, debido a la energía requerida para movilizar los gases de combustión a través del horno con precalcinador, estos sistemas se diseñan para funcionar con pequeñas caídas de presión. De esta manera, los sistemas no se diseñan para optimizar el mezclado y utilizan largos tiempos de retención con el fin de conseguir la mezcla adecuada. Podría mejorarse el rendimiento de estos sistemas de hornos introduciendo energía por medio de un aire de mezclado (presión) a muy alta velocidad. Se podrían usar presiones de aproximadamente 0,272 a aproximadamente 10,2 atm (aproximadamente 4 a aproximadamente 150 psi, 27,5 a 1033 kPa), más normalmente aproximadamente 2,72 a aproximadamente 6,8 atm (aproximadamente 40 a 100 psi, 275 a 689 kPa) para introducir cantidades significativas de energía con el fin de crear un buen mezclado en un tiempo corto. Con presiones muy altas, se puede conseguir la introducción de energía únicamente con un pequeño porcentaje del aire total de combustión (1% a 5%). Se podrían introducir una energía equivalente a cientos de caballos de vapor en la mezcla sin aumentar la caída global de presión en el sistema con precalcinador. Las cantidades de aire requeridas se mantienen limitadas con el fin de minimizar la cantidad de aire desplazado desde el recuperador de calor. Al aumentar la eficacia del mezclado se puede aumentar la eficacia de la combustión y permitir la reducción del aire en exceso requerido para conseguir los niveles deseados de monóxido de carbono residual. Esta reducción del aire en exceso global y del aire en exceso reducido mediante la sustitución después de la zona de combustión primaria da como resultado una disminución del oxígeno disponible en la zona de combustión, lo que minimizará favorablemente la formación de óxido de nitrógeno. Al aumentar la sustitución del aire de mezclado, la zona de combustión primaria se puede convertir en subestequiométrica dando como resultado una atmósfera que destruye favorablemente los óxidos de nitrógeno producidos en el horno rotatorio a elevada temperatura y que pasan a través del precalcinador.

Efecto del aire de mezclado en el proceso

45 Los gases contenidos en el interior de un horno de calcinación están muy estratificados debido a las diferencias de temperatura y densidad resultantes entre los gases de combustión y los gases que se están liberando procedentes del mineral en proceso. Como resultado, no existe contacto directo de los gases de combustión calientes con el lecho de mineral. La transferencia de calor se produce indirectamente por los gases calientes que calientan las paredes del horno y las paredes calientes que están rotando bajo el lecho de mineral a medida que el horno rota. Puede haber también radiación desde los gases calientes hacia el lecho de mineral, pero este mecanismo se vuelve menos importante a medida que el gas de combustión se enfría desde las temperaturas punta en la zona de combustión primaria. La inyección de aire a alta presión de manera que imparta un momento de rotación a los gases del horno añadirá otro mecanismo de transferencia de calor al horno de calcinación a medida que éste abata los gases de combustión que se desplazaban a lo largo de la parte superior del horno poniéndolos en contacto con el lecho mineral. Este mecanismo de transferencia de calor adicional servirá para mejorar la eficacia térmica del dispositivo de calcinación.

55 La inyección de aire ambiente en el interior del horno en el proceso intermedio desplaza el aire que llega desde el recuperador de calor que recupera el calor en el producto descargado en el interior del aire de combustión. La

reducción del aire procedente del recuperador de calor puede afectar la eficacia de esta recuperación de calor, es por tanto deseable minimizar la cantidad de aire de mezclado añadida al proceso intermedio. Esto requiere inyectar el aire de mezclado a alta presión de tal manera que tenga suficiente energía cinética para impartir un componente de rotación a los gases en volumen del horno.

5 **Penalización de combustible en los chorros de aire de alta energía en un horno con precalcinador**

10 Se cree comúnmente que inyecciones de aire sin calentar en el proceso de cemento aguas abajo del enfriador y el desplazamiento de aire resultante desde el enfriador dará como resultado una disminución inaceptable de la recuperación de calor. En un examen más detallado, los cálculos desvelan que dicha disminución de la recuperación de calor es mínima, especialmente a la vista de las ventajas de mezclar los gases de proceso en zonas de elevada temperatura. Los cálculos muestran que si se introduce un 10% del aire de combustión teórico con alta energía en el interior del horno rotatorio, el desplazamiento de una masa correspondiente de aire precalentado daría como resultado una reducción de la recuperación de calor procedente del enfriador de menos del 2% de la entrada total de energía. La ganancia potencial en la eficacia del proceso debida a la eliminación de la estratificación puede más que compensar esta disminución de calor.

15 **Combustión de neumáticos en un horno con precalcinador**

20 Se pueden introducir neumáticos completos en la chimenea de alimentación o descargarse con suficiente momento de tal manera que rueden en el interior del extremo superior del horno del reactor rotatorio. La velocidad de combustión de los neumáticos en una zona de combustión secundaria en el extremo superior del reactor rotatorio de un horno con precalcinador está limitada por el requerimiento de reducir el combustible en el quemador principal en una cantidad correspondiente. El incremento resultante en la relación aire a combustible da como resultado un enfriamiento de la llama principal y se producen temperaturas inadecuadas de la llama a aproximadamente un 20% de la tasa de sustitución. Se producen otros problemas como resultado de la estratificación de los gases en la salida del horno. Los tiros se encuentran en la parte inferior del reactor del horno donde existe oxígeno inadecuado para completar la combustión. Como resultado, gas rico en combustible penetra en la cámara de entrada por encima de la plataforma de alimentación donde se produce alguna mezcla con los gases que contienen oxígeno procedentes de la parte superior del horno. La combustión resultante en la cámara de entrada crea elevadas temperaturas localizadas y da como resultado producciones inaceptables en la cámara de entrada.

25 Con el uso de chorros de aire de alta energía que introducen hasta aproximadamente un 10% del aire de combustión con un momento de rotación próximo al extremo superior del reactor rotatorio, se puede incrementar la tasa de sustitución de los neumáticos completos hasta un 30% del combustible del horno sin temperaturas o producciones de llama principal inaceptables. Además, la mezcla de chorros de aire produce una distribución más uniforme de los gases de oxígeno reducidos creados por la combustión de los neumáticos para promover una reducción más eficaz de los NOx. La mejora en la mezcla de los gases del horno minimiza el potencial de una producción inaceptable en la cámara de entrada.

30 **Inyección de combustible de Polysius en la salida del precalcinador para controlar los NOx**

35 Un procedimiento para destruir los NOx generados en la zona de elevada temperatura de un horno de procesamiento de mineral es producir una zona subestequiométrica a una temperatura de 982 a 1371°C (1800° a 2500°F) en algún punto aguas abajo. Esto se puede llevar a cabo convenientemente introduciendo un combustible de hidrocarburos a la salida según describe Polysius. Una limitación de esta técnica es el hecho de que los gases de salida del horno están muy estratificados. Los gases en la parte superior del horno están más calientes y tienen un mayor contenido de oxígeno, y el gas que se desplaza a lo largo de la parte inferior es más frío y está enriquecido con el dióxido de carbono procedente del carbonato de calcio residual en el medio caliente que penetra en el horno y posiblemente enriquecido en monóxido de carbono procedente de cualquier carbono introducido desde el precalcinador.

40 Puede mejorarse la función del combustible inyectado consiguiendo una distribución uniforme de la zona de reducción en la sección transversal del conducto. Al inyectar energía de mezcla por medio de los chorros de aire en el horno rotatorio para romper la estratificación en el horno rotatorio proporciona una composición más uniforme del gas en la zona de reducción. Se puede conseguir la mezcla adicional del combustible inyectado y la zona de reducción resultante mediante el uso de chorros de inyección de aire de alta energía adicionales en la parte estacionaria del horno próxima al extremo de salida del gas del reactor rotatorio. (Véase la Figura 23).

45 **Mejora de la transferencia de calor en un horno rotatorio**

Ejemplo de horno de caliza:

Los gases en la zona de calcinación de un horno de caliza están muy estratificados. En un horno con un diámetro de 12 pulgadas (30,5 cm) (11 pulgadas (27,9 cm) D.I.). La velocidad del gas a través del horno es normalmente

de 9,14 a 15,2 m (30 a 50 pies) por segundo. La temperatura del gas sobre el lecho de piedra caliza en calcinación es de 982 a 2204°C (1800° a 4000°F) y el lecho de piedra caliza y el dióxido de carbono liberado (peso molecular de 44 frente al de 29 de los gases de combustión) están a la temperatura de calcinación de ~1560°F (~850°C). Como resultado de la gran diferencia de densidad entre los gases de combustión calientes y el dióxido de carbono liberado, el lecho de mineral permanece envuelto en dióxido de carbono. Se produce la transferencia de calor por radiación y por la pared calentada del horno por debajo del lecho de mineral.

Un chorro de alta energía que introduce un componente de rotación en la velocidad del gas del horno da como resultado que se arrastre la capa de dióxido de carbono del material de calcinación. Esto permite el contacto directo de los gases de combustión calientes con el lecho de mineral. Debido a la mayor área superficial ahora disponible y a las mayores diferencias de temperatura entre los gases de combustión y el mineral en proceso (en comparación con la pared del horno), aumenta la velocidad de transferencia de calor.

Estos chorros de aire de alta energía rompen la estratificación que se había formado y el componente de rotación inducido por los chorros evita la reformación de la capa estratificada.

Al poner en contacto los gases del horno calientes, que contienen oxígeno en contacto con el lecho de mineral, los componentes de combustible en el lecho que estaban envueltos anteriormente con dióxido de carbono pueden ahora entrar en combustión. Estos componentes combustibles se pueden producir naturalmente en el mineral que se está procesando, o ser un resultado del combustible sólido introducido para proporcionar energía al proceso.

Existen de esta manera muchas ventajas que puede ganar el proceso rompiendo la estratificación que es inherente a los lechos de minerales en los hornos rotatorios.

Aplicación de aire de mezclado temprano – Reducción y destrucción de los NOx mediante inyección de aire aguas debajo de la zona de combustión secundaria

Se ha llevado a cabo satisfactoriamente la reducción de los NOx en un horno de cemento largo de vía húmeda o largo de vía seca usando una zona de combustión secundaria en la parte intermedia del horno. Hace aproximadamente 10 años, la tecnología de inyección de combustible en la parte intermedia del horno fue pionera en permitir a un horno de cemento quemar materiales residuales sólidos que contenían energía tales como neumáticos completos. Una de las ventajas secundarias de esta tecnología fue una reducción aproximada del 30% en las emisiones de NOx.

Las emisiones de NOx son el resultado del proceso de combustión usado para producir cemento. Las elevadas temperaturas y las condiciones de oxidación requeridas para fabricar cemento forman también óxidos de nitrógeno. En consecuencia, mientras que el horno esté funcionando producirá algún nivel de NOx. El nivel de NOx formado es dependiente de muchos factores, pero es predecible. Dentro de cada horno, el aumento y la disminución de los niveles de emisión de NOx está normalmente relacionado con el aumento y la disminución de la temperatura en la zona de combustión. La mayoría de los NOx se forman a partir de uno de dos mecanismos diferentes dentro de la zona de combustión. El primero es la oxidación a elevada temperatura del nitrógeno atmosférico, y el segundo es la oxidación de los compuestos que contienen nitrógeno en el combustible. La mayor parte de las emisiones de NOx procedentes de un horno de cemento son NOx térmicos. En general, el NOx térmico se forma mediante la oxidación directa de nitrógeno atmosférico a temperaturas muy elevadas. Esta reacción es muy sensible a la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, también lo hace la velocidad de la reacción. La segunda fuente de emisiones de NOx son los compuestos del combustible que contienen nitrógeno. El carbón típico contiene aproximadamente 1,5% en peso de nitrógeno. Estos compuestos experimentan una compleja serie de reacciones, lo que da como resultado que una parte de este nitrógeno se convierta en NOx. Este conjunto de reacciones es consistente durante la totalidad del proceso de combustión y sólo se ve afectado relativamente por la temperatura. Las llamas ricas en combustible tienden a disminuir la producción de NOx procedente de combustible y las llamas ricas en oxígeno tienden a aumentar la producción de NOx procedente de combustible. En la zona de combustión de un horno, donde se requieren condiciones de oxidación para la apropiada mineralogía del clinker, el proceso de combustión favorece la producción de NOx procedente de combustible. Existen algunos otros mecanismos que producen NOx. Normalmente sus efectos son relativamente insignificantes en comparación con el NOx térmico y procedente de combustible.

El sistema de inyección de combustible en la parte intermedia del horno tiene un historial probado de proporcionar una reducción significativa de los NOx en un horno de cemento largo de vía húmeda o largo de vía seca. Aprovecha la reconocida tecnología de la combustión por etapas en la que una parte del combustible se quema en una zona de combustión secundaria que está próxima a la parte intermedia del horno largo de vía húmeda o largo de vía seca. Tras estudiar los efectos de la inyección de combustible en la parte intermedia del horno en un horno de cemento, se ha determinado que tiene un efecto directo sobre el mecanismo de formación del NOx térmico. Disminuye la temperatura punta de la llama, lo cual disminuye la velocidad de emisión de los NOx y adicionalmente, existe la oportunidad de volver a quemar los NOx creados en la zona de elevada temperatura del horno, en la zona de

combustión secundaria de menor temperatura.

5 En esta invención, la inyección de aproximadamente un 10% del aire total de combustión a través de una
boquilla, preferiblemente una que tenga un orificio con una relación de aspecto mayor de uno, en el interior del horno
aguas debajo de la zona de combustión secundaria. A elevada velocidad (desde una fuente de presurización capaz de
10 proporcionar una presión estática diferencial de al menos 0,15 atm (15,20 kPa), más preferiblemente de al menos 0,20
atm (20,26 kPa)) y en un ángulo respecto al flujo de gas del horno para impartir un componente de rotación a los gases
del horno. Este componente de rotación proporciona mucha mejor mezcla transversal en el horno. Al mezclar los gases
del horno se produce una mejora de la combustión y una disminución de las emisiones. La inyección de aire de
mezclado afecta a los NOx cambiando la dinámica del flujo de aire dentro del horno. Al añadir el aire de mezclado al flujo
15 de aire aguas abajo del punto de entrada de combustible en la parte intermedia del horno, se puede alterar la cantidad de
aire en exceso entre la llama principal y el ventilador del aire de mezclado. En este ejemplo, el combustible en la parte
intermedia del horno usa ahora el aire en exceso restante después del quemador primario, y en el punto de entrada de
combustible en la parte intermedia del horno, no existe aire en exceso en el horno. Esta situación proporciona ahora la
oportunidad para la de-NOx química. A continuación se vuelve a añadir al aire de mezclado un 10% de aire en exceso, y
se proporciona una oportunidad para la recombustión oxidativa de los productos residuales de la combustión incompleta.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento de mezcla de una corriente de gas de un horno a elevada temperatura en un reactor rotatorio (12) de un horno de procesamiento de mineral (10) que funciona con el fin de reducir la emisiones de contaminantes nocivos, teniendo dicho horno una pared cilíndrica (14) y un extremo de entrada de aire de combustión (16) y un extremo de salida del gas del horno (18), teniendo dicha corriente de gas del horno múltiples componentes gaseosos constituidos esencialmente por los productos de combustión del combustible quemado en un aire de combustión que comprende gas que contiene oxígeno, **caracterizándose** dicho procedimiento **por** la etapa de inyectar aire desde una fuente presurizada (34) en el interior de la corriente de gas del horno a través de un sistema de inyección (31), que comprende un tubo que termina en un puerto de inyección (32) en el reactor y separado con respecto de la pared del reactor y el eje de rotación del horno, seleccionándose la presión del aire y el tamaño del puerto de tal manera que el aire inyectado (50) se suministra a través del puerto a un caudal másico de menos del 15% del gasto másico de consumo del aire de combustión y se dirige para hacer impacto en la corriente de gas del horno en el horno para impartir un momento de rotación a la corriente de gas del horno.
- 10
- 15 2.- El procedimiento de la reivindicación 1 en el que el aire inyectado (50) tiene un nivel de energía de 7,92 a 79,2 KJ por kg (1 a 10 vatios-hora por libra) del gas inyectado.
- 3.- El procedimiento de la reivindicación 1 en el que el aire (50) se inyecta desde una fuente presurizada (34) proporcionando una presión diferencial estática mayor de 0,15 atm (15,20 kPa).

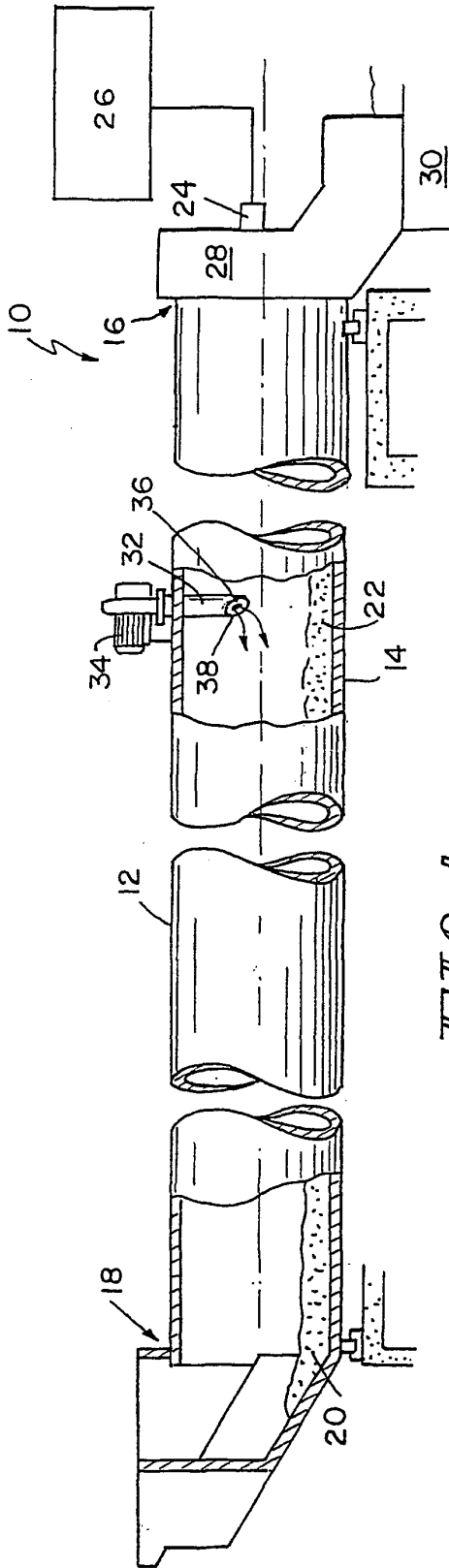


FIG. 1

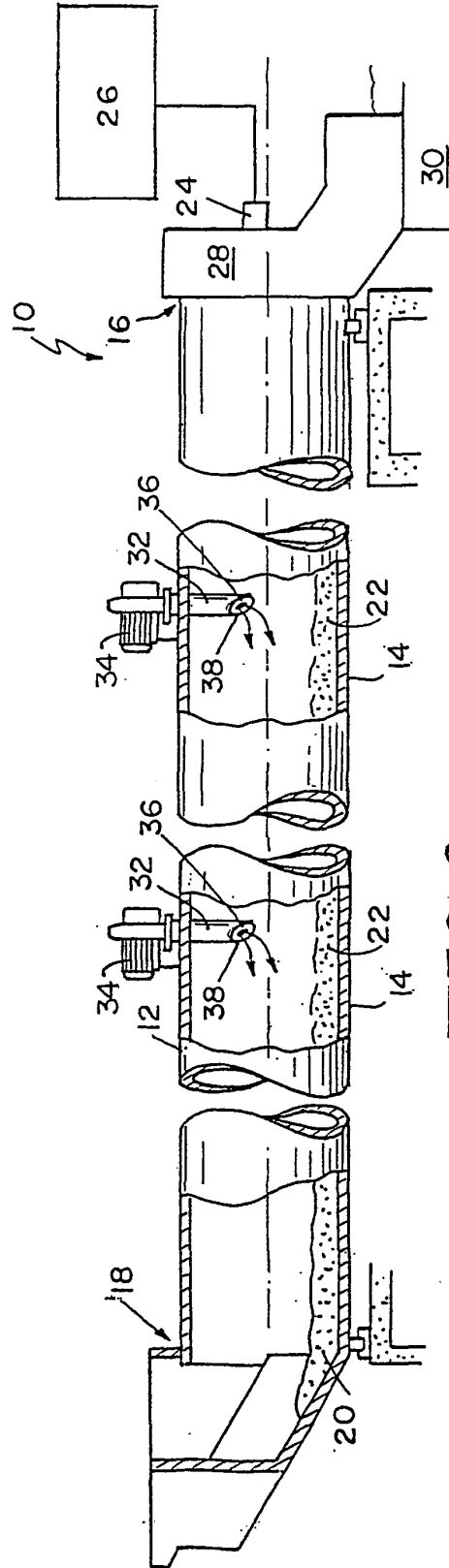


FIG. 2

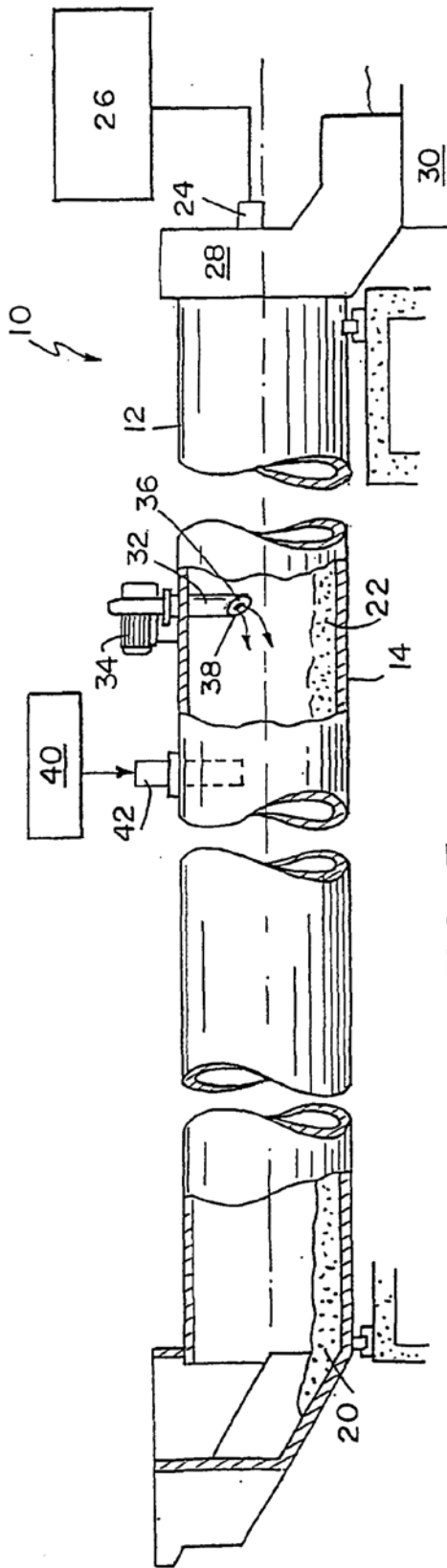


FIG. 3

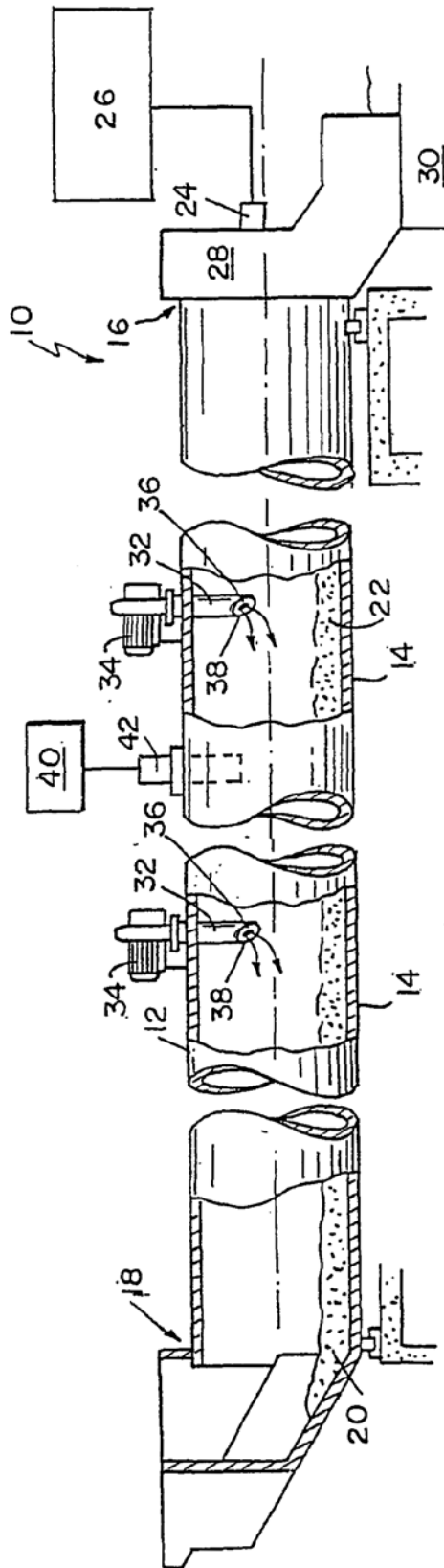


FIG. 4

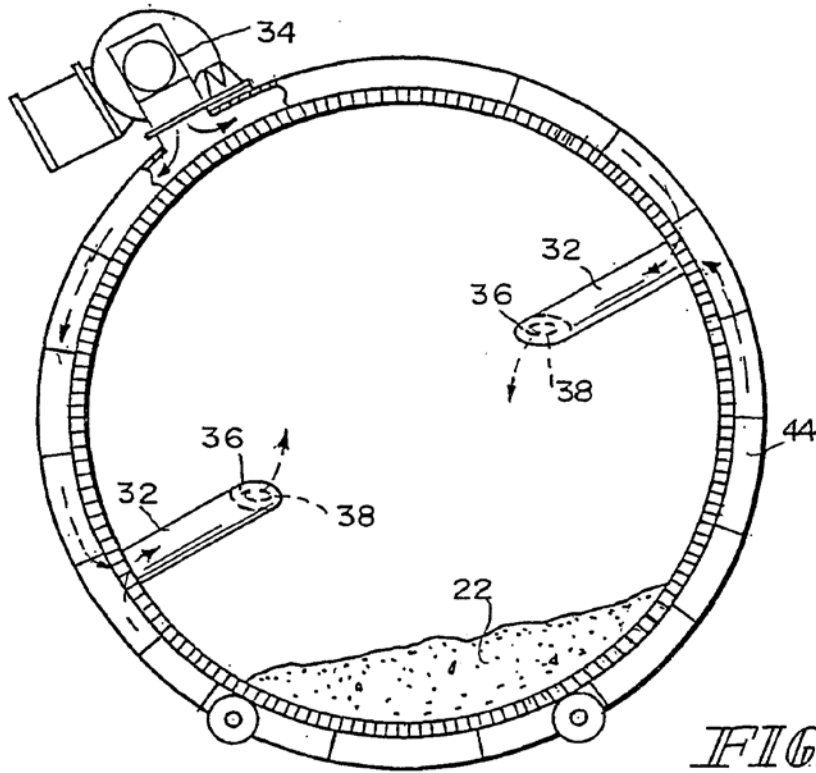


FIG. 5

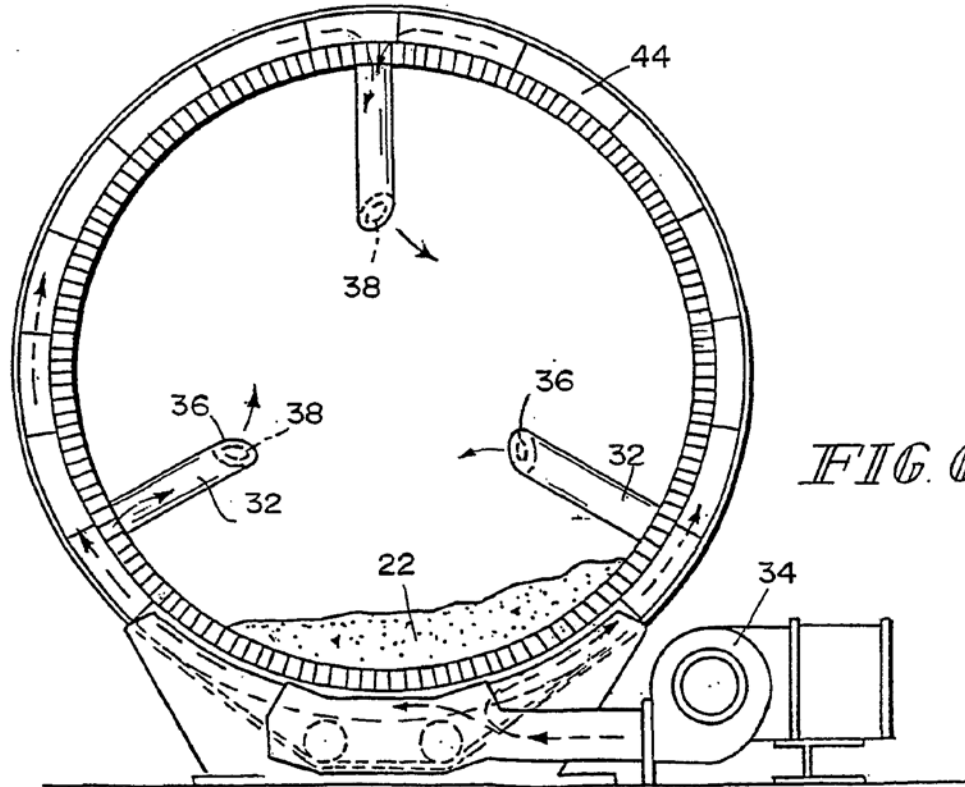


FIG. 6

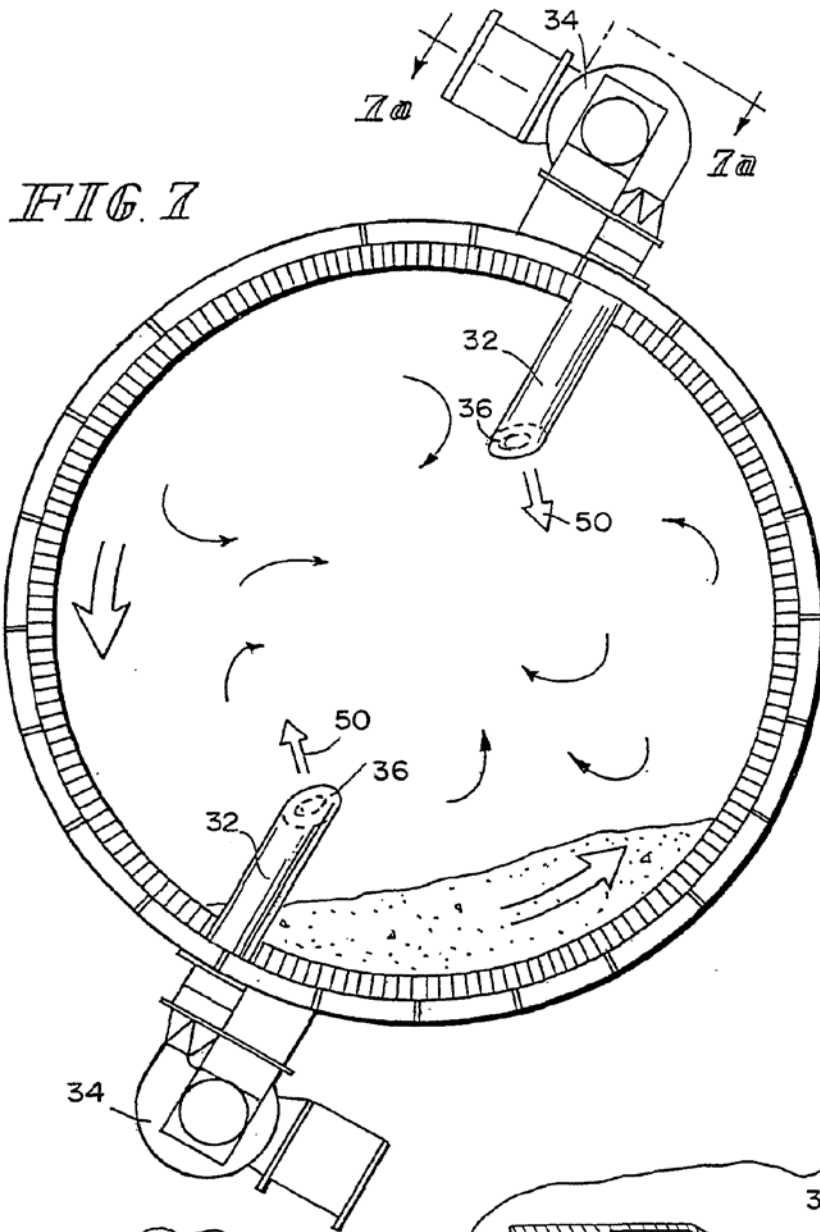


FIG. 7

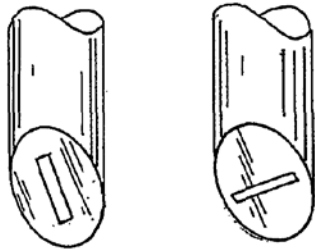


FIG. 8a FIG. 8b

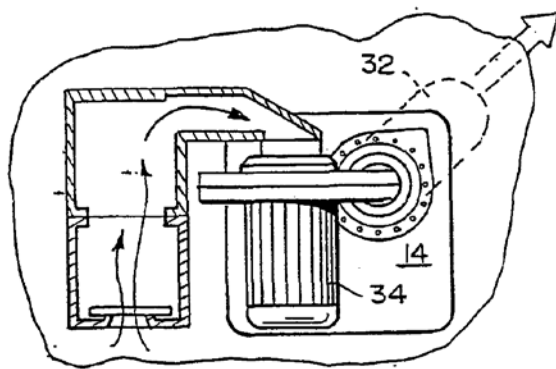


FIG. 7a

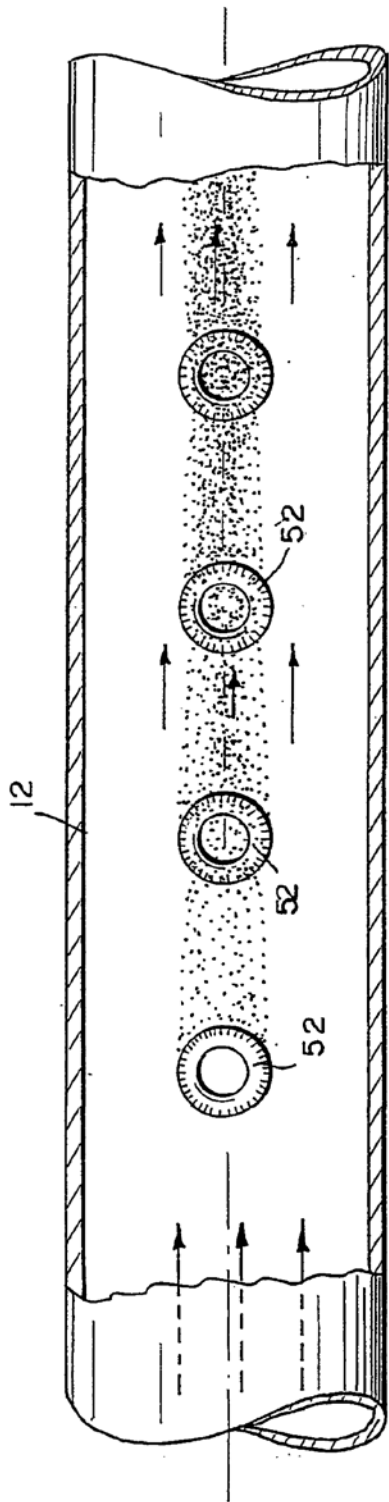


FIG. 9a

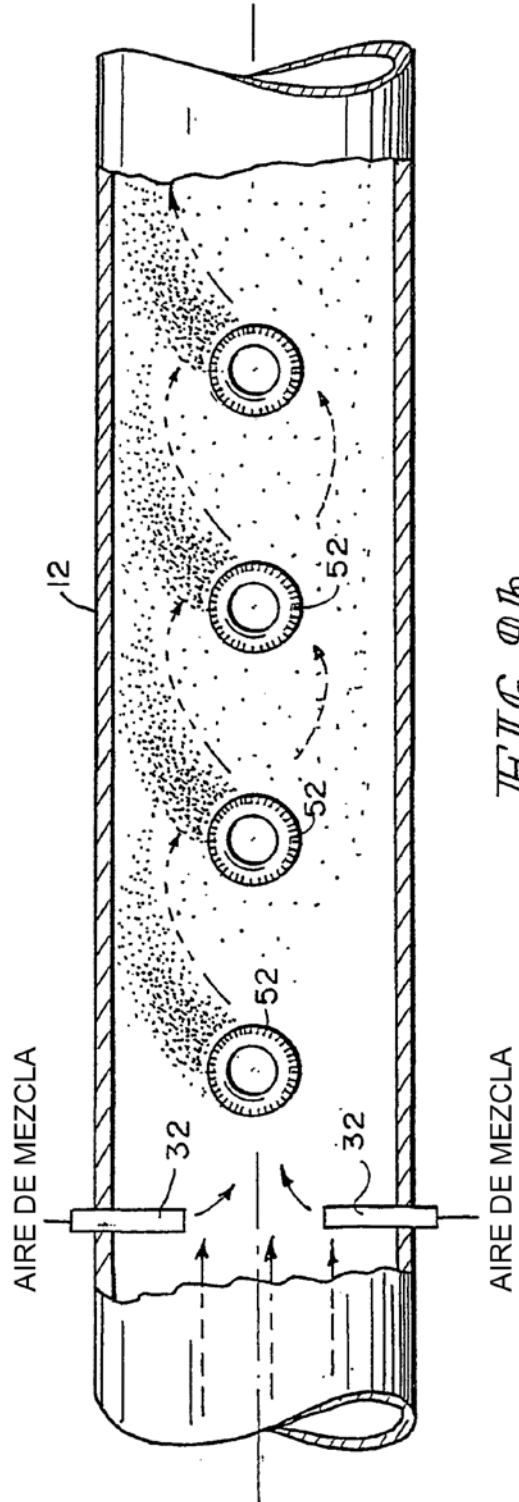


FIG. 9b

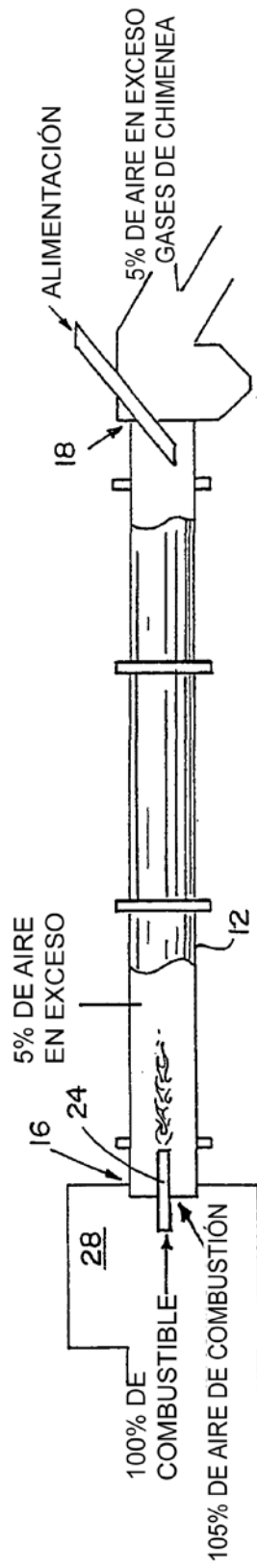


FIG. 10a

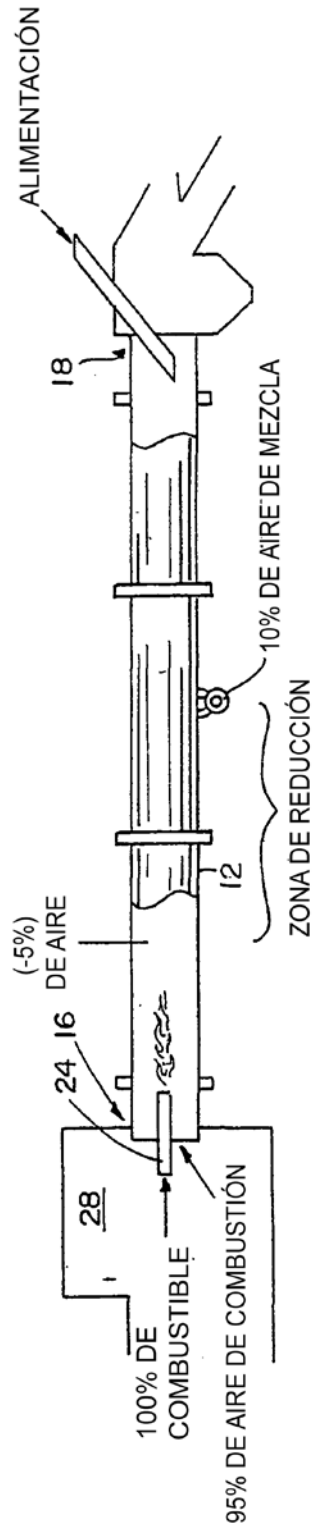


FIG. 10b

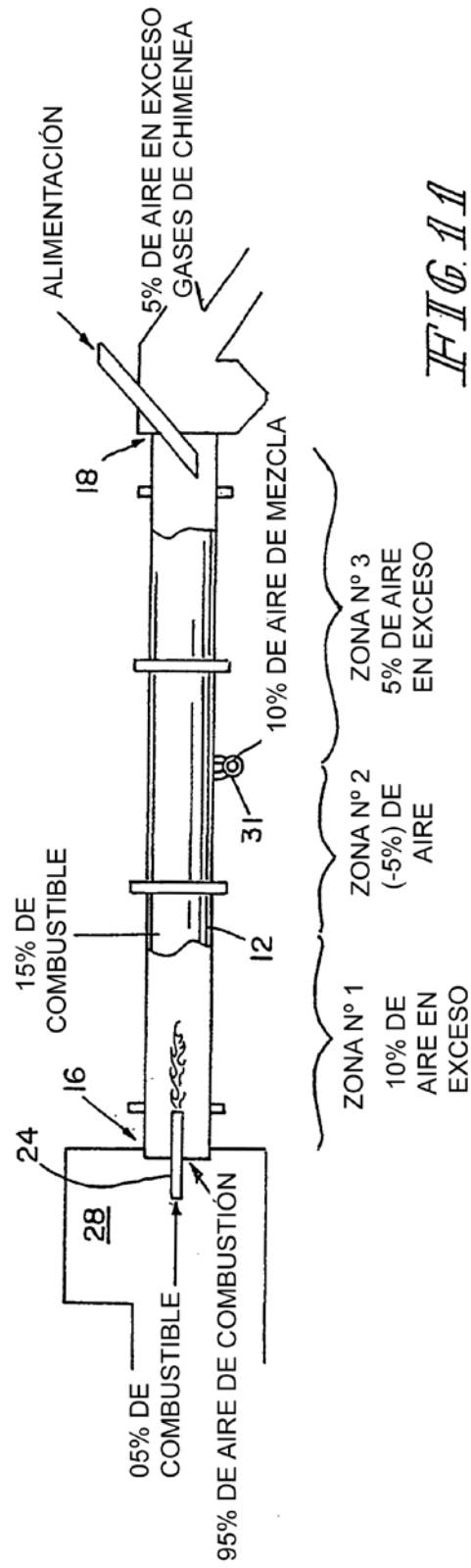


FIG. 11

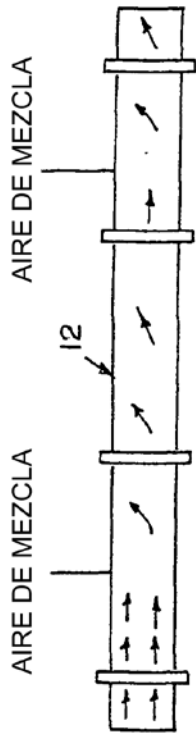
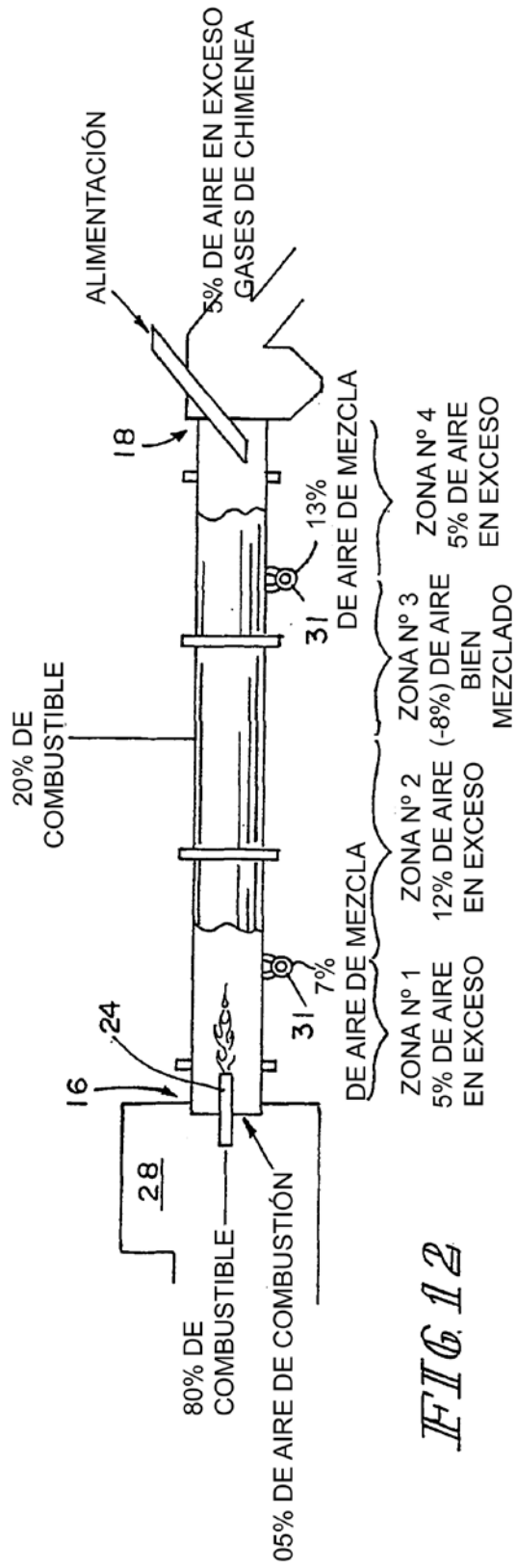


FIG. 13



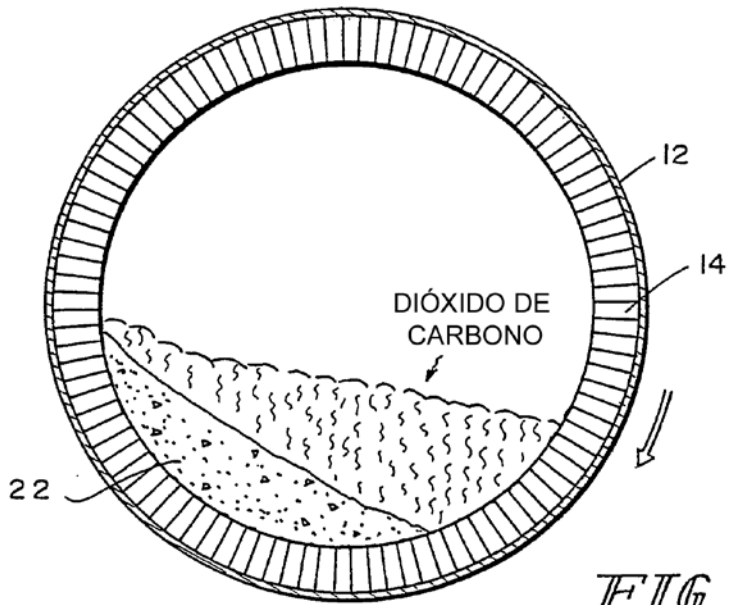


FIG. 14

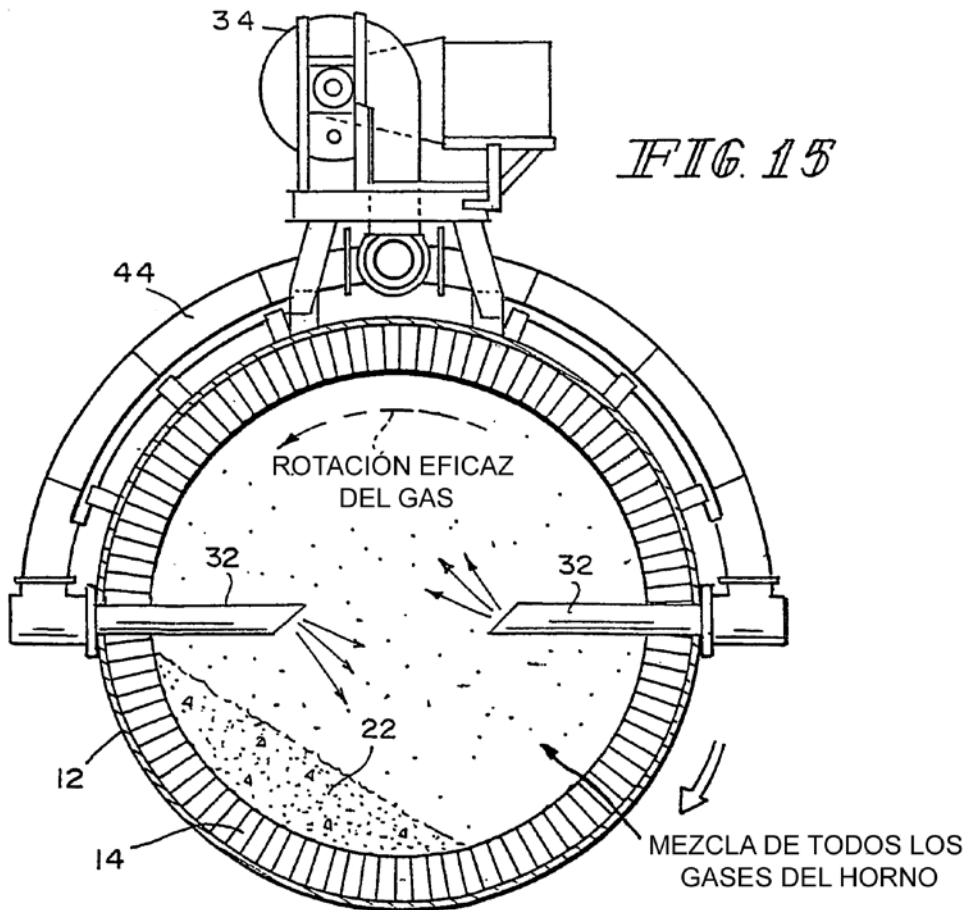


FIG. 15

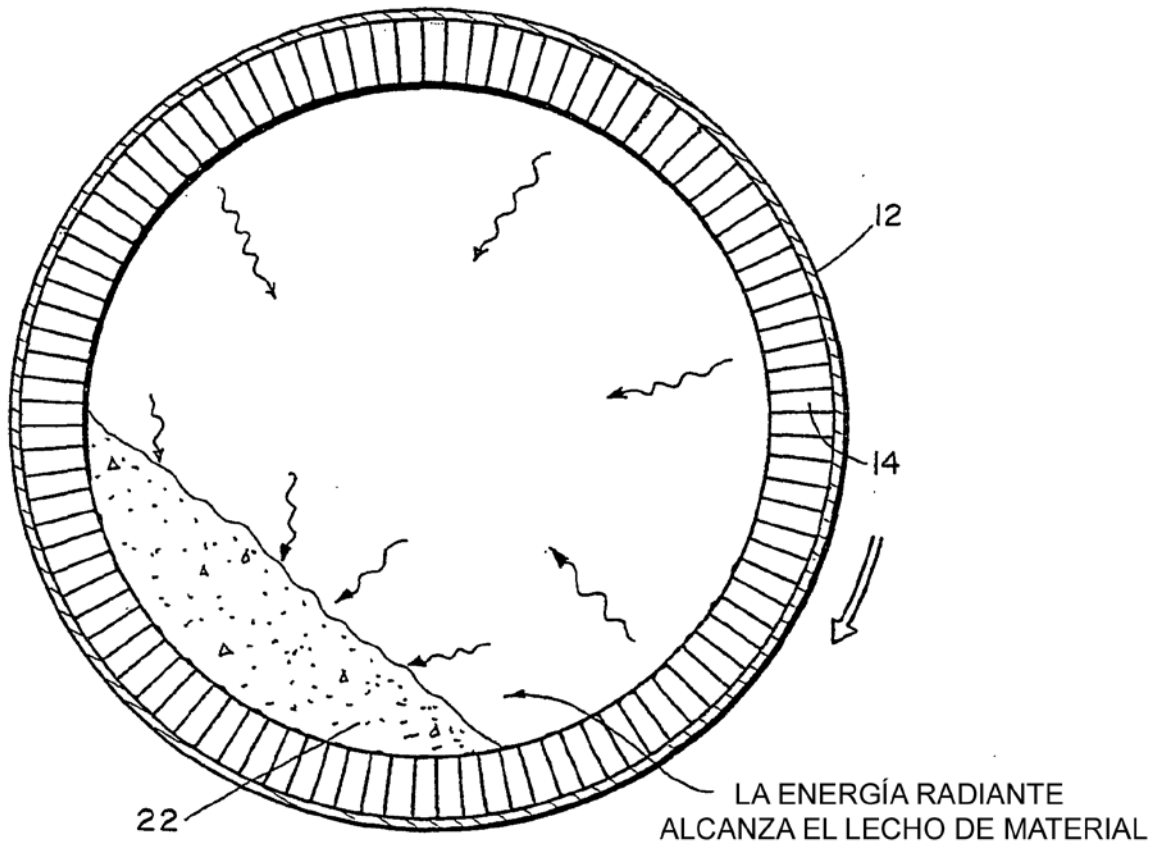
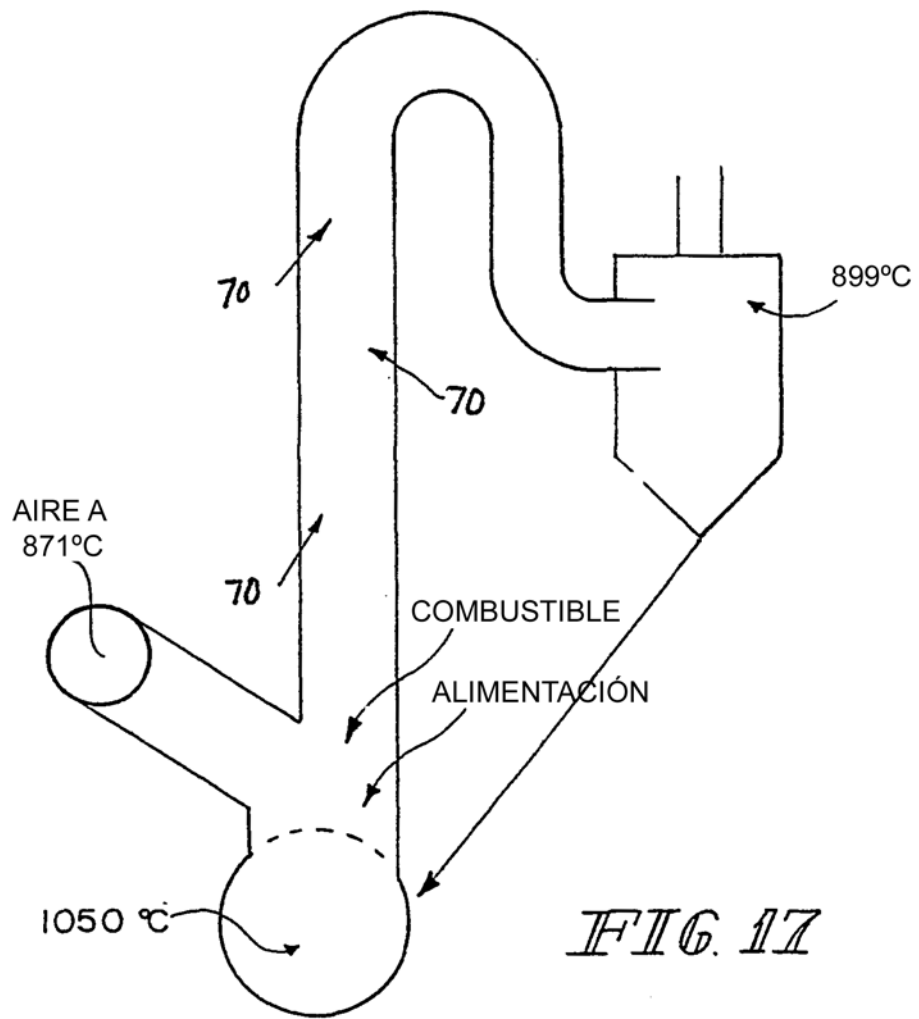


FIG. 16



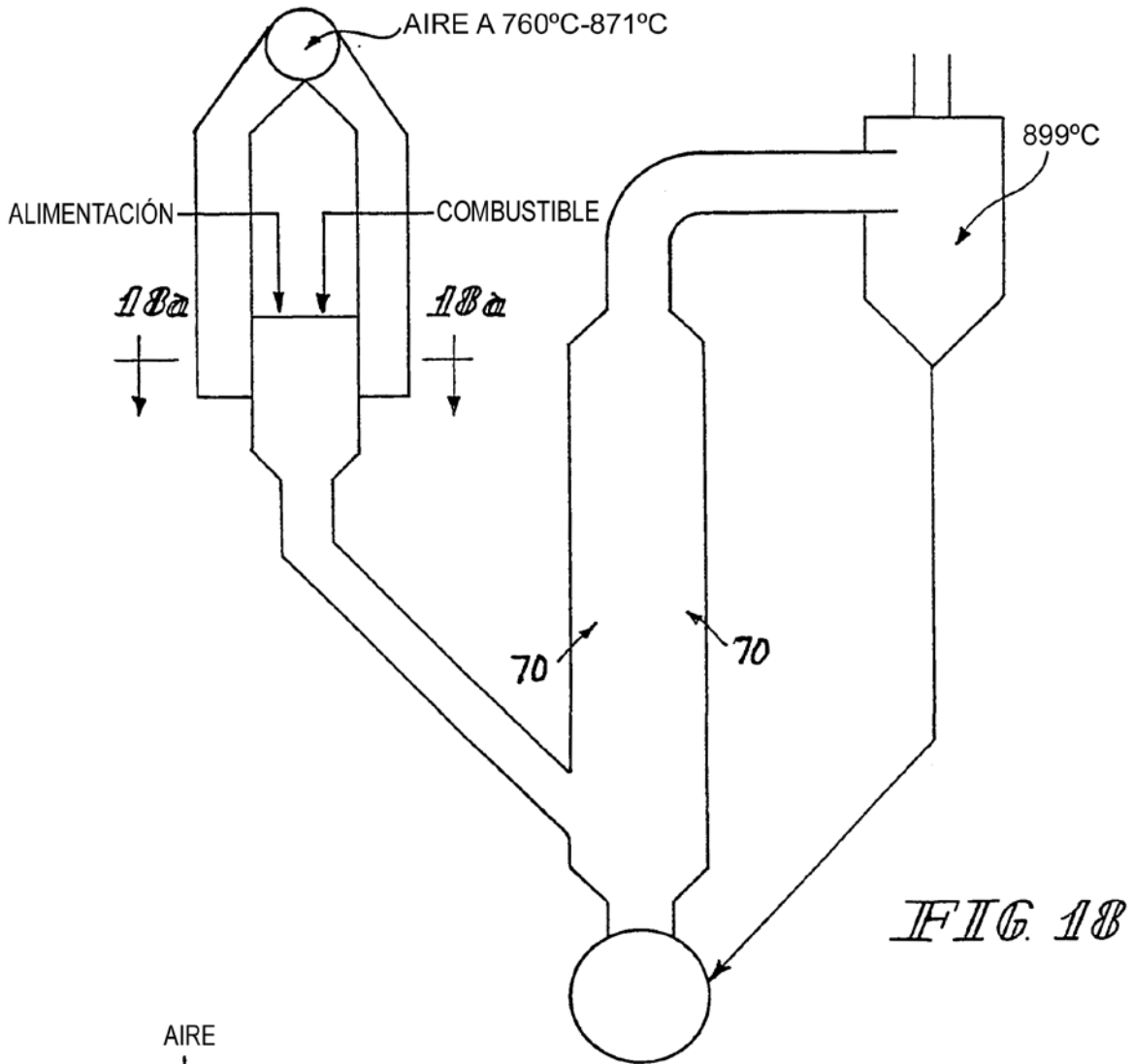


FIG. 18

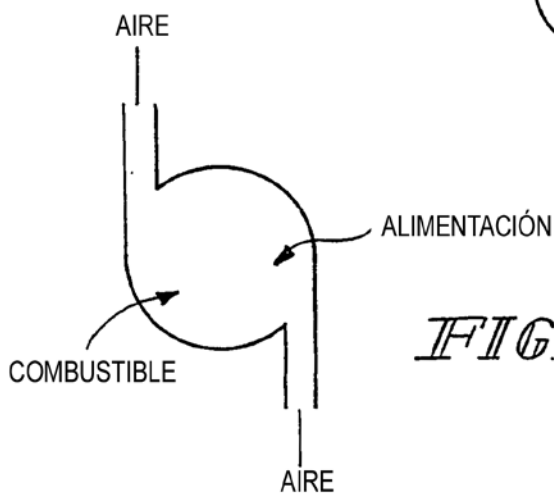


FIG. 18a

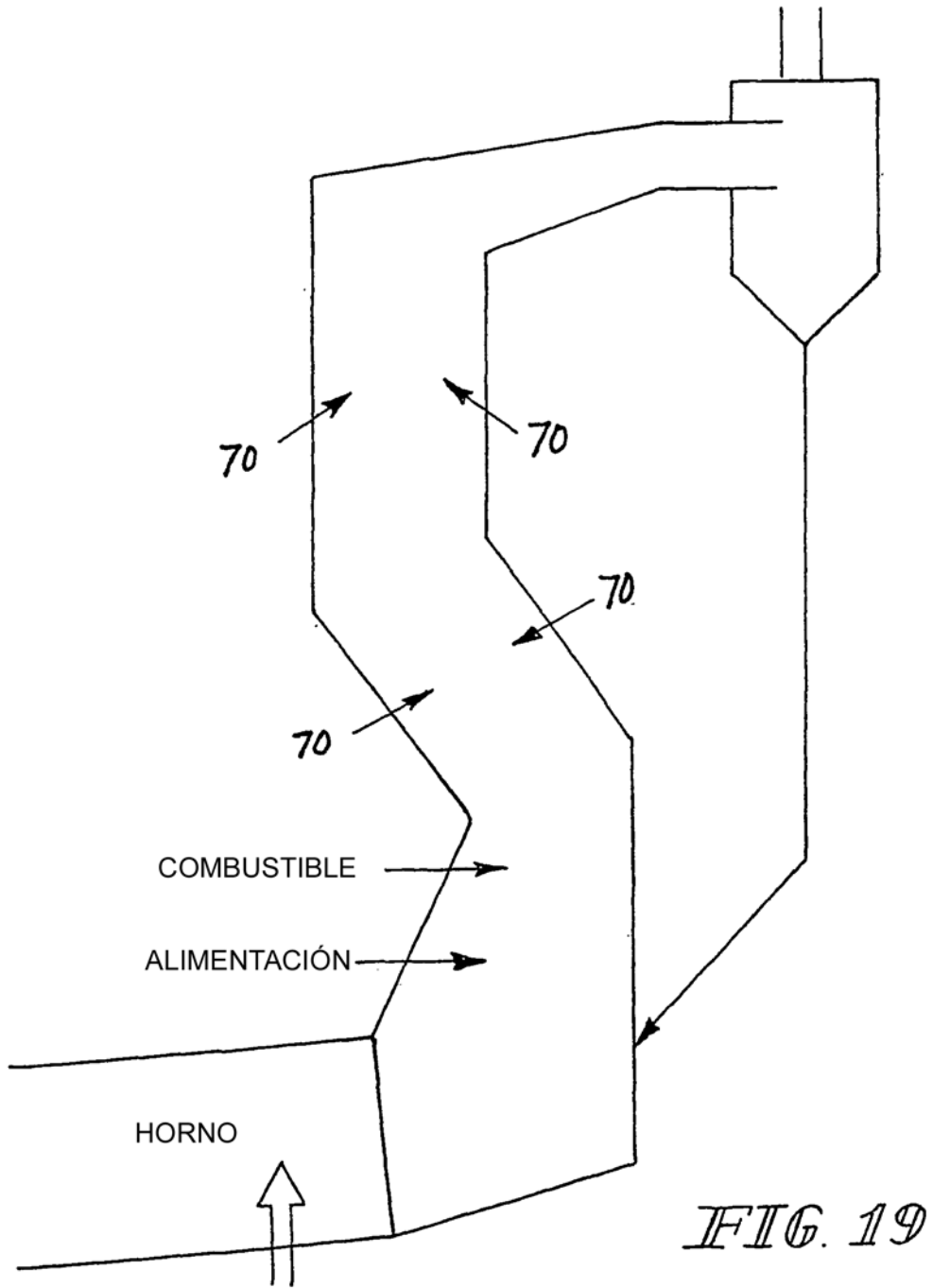
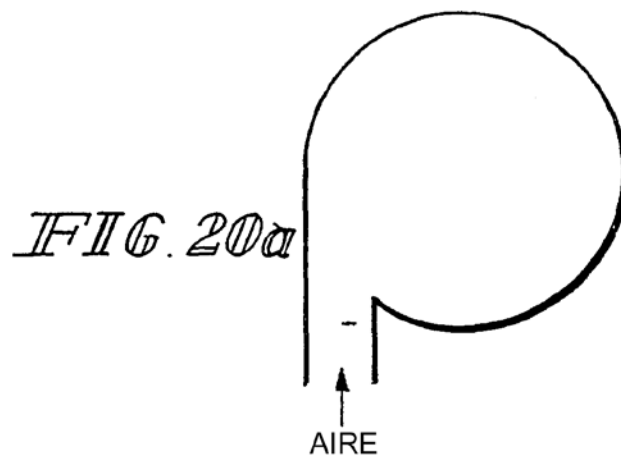
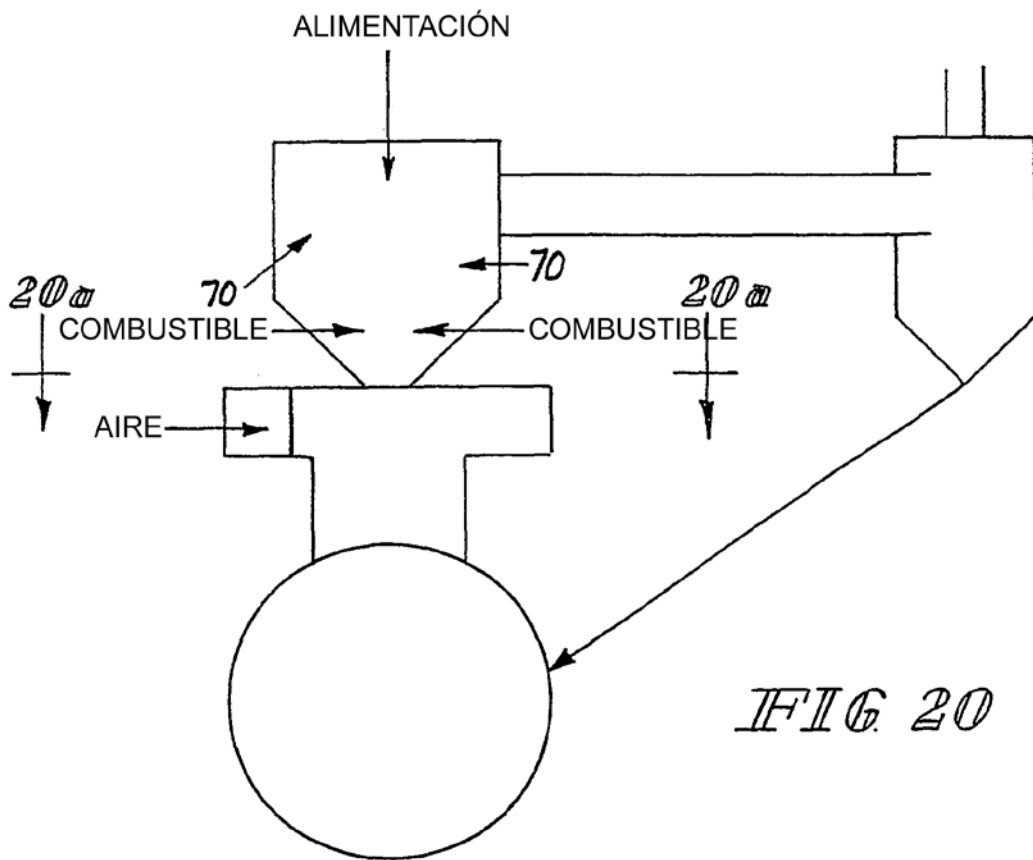
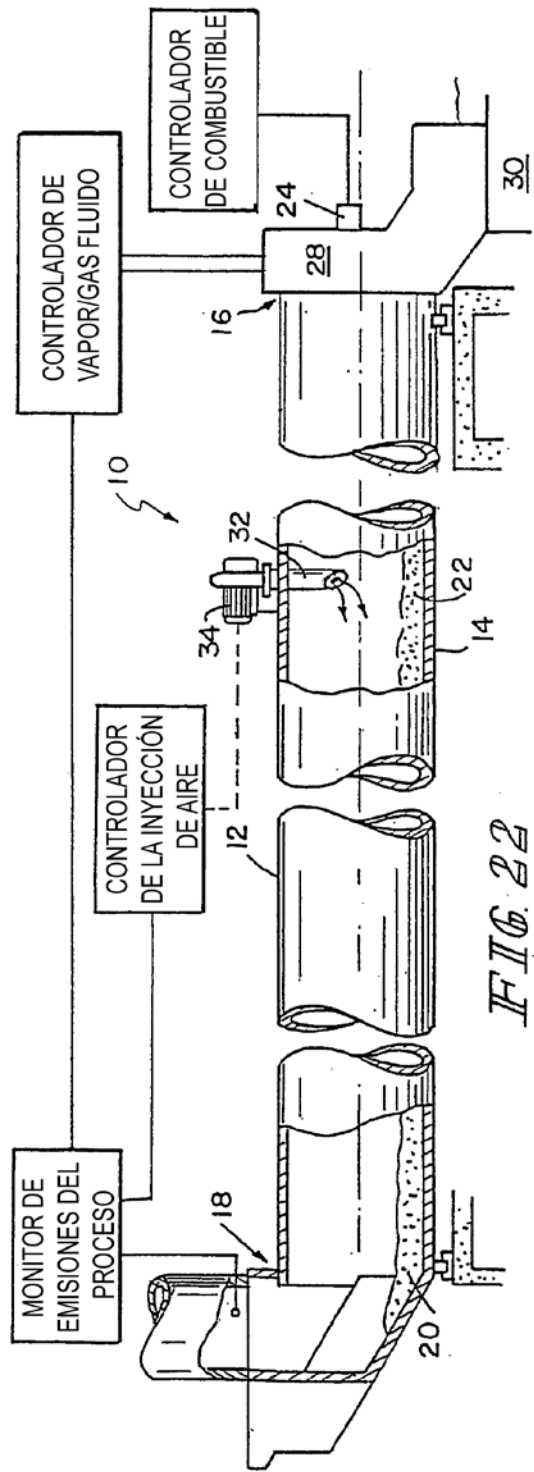
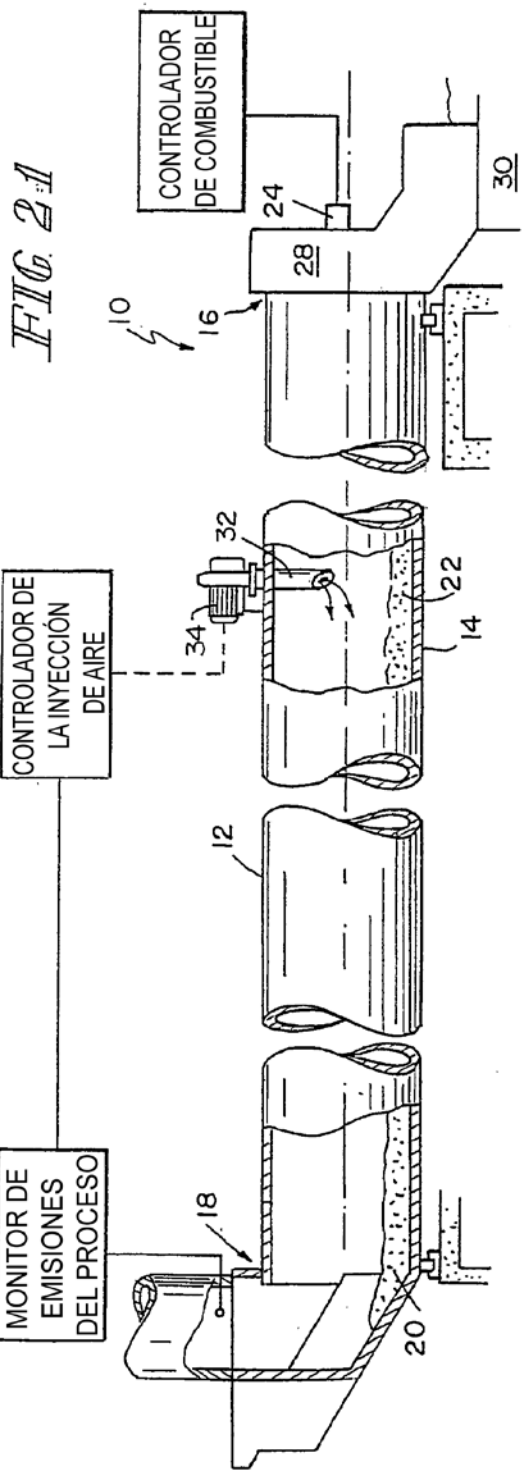


FIG. 19





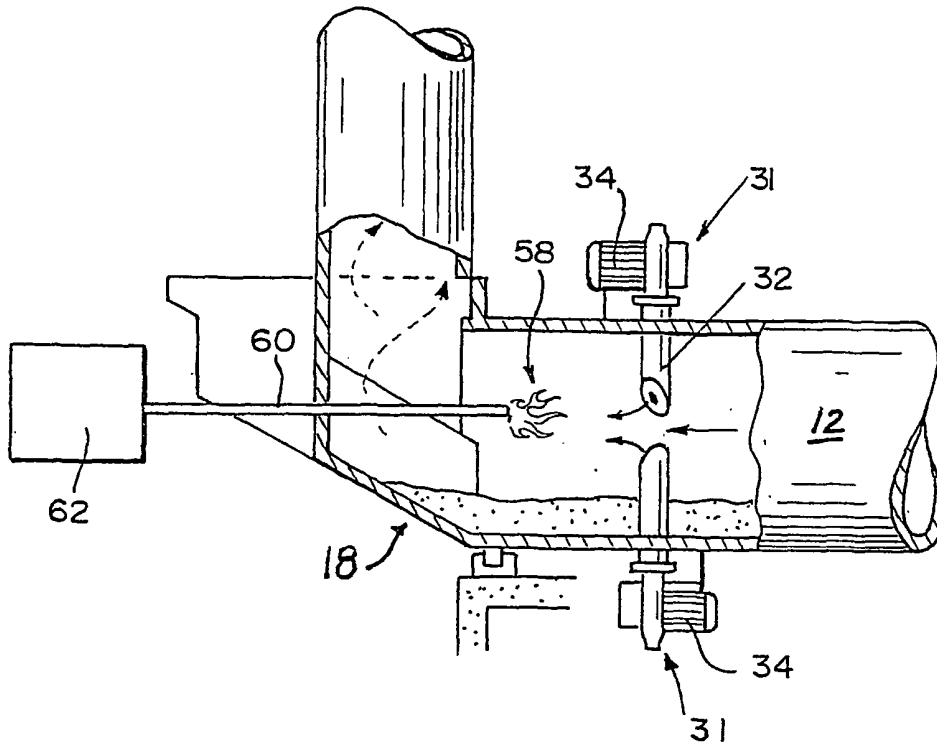


FIG 23