

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 443 314**

51 Int. Cl.:

**C21C 5/38** (2006.01)

**C21B 9/14** (2006.01)

**F01K 23/06** (2006.01)

**F22B 1/18** (2006.01)

**F27D 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.09.2010 E 10763080 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2013 EP 2480692**

54 Título: **Sistema de procesamiento de gas de escape y de recuperación de calor**

30 Prioridad:

**25.09.2009 US 245822 P**

**16.03.2010 US 724526**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**18.02.2014**

73 Titular/es:

**ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)**

**Brown Boveri Strasse 7**

**5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**O'BOYLE, KEVIN J. y**

**BIRMINGHAM, JAMES W.**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 443 314 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

Sistema de procesamiento de gas de escape y de recuperación de calor.

**Antecedentes**

## 1. Campo de la invención

5 Esta invención se refiere en general a un sistema y un método de procesamiento de gas de escape y de recuperación de calor (EPHR) para uso con hornos que queman combustible fósil. Más particularmente, la presente invención se refiere a un sistema EPHR en el que se introducen partículas alcalinas en una corriente de gas de humo para permitir una extracción adicional de calor y reducir el ensuciamiento del equipo precalentador de aire.

## 10 2. Discusión de la técnica anterior relacionada

Muchos sistemas de generación de energía son accionados por vapor que se genera en hornos que queman combustibles fósiles, tales como, por ejemplo, carbón o petróleo. El documento GB2017601 define su invención como un método para proteger un equipo auxiliar aguas abajo de una unidad de combustión, tal como, entre otros, un intercambiador de calor, tratando los gases de escape procedentes de dicha unidad de combustión y los documentos JP2005029816 y JP62244424 discuten la neutralización de humos utilizando partículas alcalinas en un equipo con presencia de medios intercambiadores de calor en el sentido de la presente solicitud. En el diagrama mostrado en la figura 1A se ilustra en general un sistema típico de generación de energía.

15 La figura 1A muestra un sistema de generación de energía 10 que incluye un sistema de generación de vapor 25 y un sistema de procesamiento de gas de escape y de recuperación de calor (EPHRS) 15 y una chimenea de escape 90. El sistema de generación de vapor 25 incluye un horno 26. El EPHRS 15 puede incluir un precalentador de aire regenerativo 50, un sistema de retirada de partículas 70 y un sistema restregador 80. Está previsto un ventilador 60 de tiro forzado (FD) para introducir aire en el lado frío del precalentador de aire 50 a través de la entrada 51. El sistema de retirada de partículas 70 puede incluir, por ejemplo, un precipitador electrostático (ESP) y un sistema de filtro de tela (cámara de bolsas o similar). El sistema restregador 80 puede incluir, por ejemplo, sistemas de desulfuración de gas de humo en húmedo o en seco (WFGD/DFGD).

20 El precalentador de aire regenerativo 50 ayuda a aumentar la eficiencia térmica del horno 26, reduciendo así sus costes operativos y las emisiones de gases con efecto invernadero. Un precalentador de aire 50 es un dispositivo diseñado para calentar aire antes de que sea introducido en otro proceso, tal como, por ejemplo, la cámara de combustión de un horno 26. Hay diferentes tipos de precalentadores de aire regenerativos, incluyendo los que comprenden elementos de intercambio de calor móviles o rotativos, tal como, por ejemplo, el precalentador de aire Ljungstrom®. Otros precalentadores de aire regenerativos utilizan elementos de intercambio de calor fijos y/o campanas o conductos internamente rotativos que se fijan a conductos de aire y/o gas rígidos.

30 La figura 1B y la figura 1C son diagramas que ilustran en general un precalentador regenerativo rotativo convencional 50. El precalentador de aire típico 50 tiene un rotor 512 montado de forma rotativa en un alojamiento 524. El rotor 512 está formado por diafragmas o tabiques 516 que se extienden radialmente desde un poste de rotor 518 hasta la periferia exterior del rotor 512.

40 Los tabiques 516 definen compartimientos 520 entre ellos. Estos tabiques 516 contienen conjuntos de cesto 522 de elementos de intercambio de calor. Cada conjunto de cesto 522 incluye una o más láminas especialmente conformadas de superficies de transferencia de calor que se denominan también elementos de intercambio de calor 542. El área específica de los elementos de intercambio de calor 542 es significativa, típicamente del orden de varios millares de pies cuadrados.

45 En un precalentador de aire regenerativo rotativo típico 50 la corriente de gas de humo FG1 y la corriente de aire de combustión A1 entran en el rotor 512 desde extremos/lados opuestos del precalentador de aire 50 y pasan en direcciones opuestas sobre los elementos de intercambio de calor 542 que están alojados dentro de los conjuntos de cesto 522. En consecuencia, la entrada de aire frío 51 y la salida de gas de humo enfriado 54 están en un extremo del precalentador de aire 50 (denominado generalmente extremo frío 544) y la entrada de gas de humo caliente 53 y la salida de aire calentado 52 están en el extremo opuesto del precalentador de aire 50 (denominado generalmente extremo caliente 546). Unas placas de sector 536 se extienden a través del alojamiento 524 junto a las caras superior e inferior del rotor 512. Las placas de sector 536 dividen el precalentador de aire 50 en un sector de aire 538 y un sector de gas de humo 540.

55 Las flechas mostradas en la figura 1B y la figura 1C indican la dirección de la corriente de gas de humo FG1/FG2 y la corriente de aire A1/A2 a través del rotor 512. La corriente de gas de humo FG1 que entra por la entrada de gas de humo 53 transfiere calor a los elementos de intercambio de calor 542 de los conjuntos de cesto 522 montados en los compartimientos 520 posicionados en el sector de gas de humo 540. Los conjuntos de cesto calentados 522 son hechos girar después hasta el sector de aire 538 del precalentador de aire 50. El calor almacenado del conjunto de cesto 522 es transferido luego a la corriente de aire A1 que entra por la entrada de aire 51. La corriente de gas de humo frío FG2 sale del precalentador 50 por la salida de gas de humo 54 y la corriente de aire calentado A2 sale del

precalentador 50 por la salida de aire 52.

Haciendo referencia nuevamente a la figura 1A, el precalentador de aire 50 calienta el aire introducido a través del ventilador FD 60. El gas de humo (FG1) emitido desde la cámara de combustión del horno 26 es recibido por el precalentador de aire a través de la entrada 53. Se recupera calor del gas de humo (FG1) y se le trasfiere al aire de entrada (A1). El aire calentador (A2) es alimentado a la cámara de combustión del horno 26 para aumentar la eficiencia térmica de dicho horno 26.

Durante el proceso de combustión en el horno 26 se oxida el azufre del combustible utilizado para alimentar el horno 26 dando dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). Después del proceso de combustión se oxida adicionalmente cierta cantidad de  $\text{SO}_2$  para proporcionar trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), convirtiéndose cantidades típicas del orden de 1% a 2% en  $\text{SO}_3$ . El  $\text{SO}_2$  y el  $\text{SO}_3$  serán descargados de la cámara de combustión del horno 26 e ingresados en el humo de escape como parte del gas de humo FG1, el cual es emitido luego desde el sistema de regeneración de vapor 25 y recibido por la entrada 53 del precalentador de aire 50. La presencia de óxido de hierro, vanadio y otros metales en el rango de temperatura apropiado permite que tenga lugar esta oxidación. Es también ampliamente conocida una reducción catalítica selectiva (SCR) para oxidar una porción del  $\text{SO}_2$  del gas de humo FG1 dando  $\text{SO}_3$ .

A medida que se va recuperando/extrayendo calor del gas de humo FG1 por el precalentador de aire, se reduce la temperatura del gas de humo FG1. Es deseable retirar la máxima cantidad de calor del gas de humo y transferirla al aire calentado que va al horno o a los molinos pulverizadores de combustible para optimizar la eficiencia térmica de la planta energética. La estación de calor adicional permite el diseño/uso de equipos de recogida de partículas, equipos de limpieza gaseosa, conductos y chimeneas aguas abajo de la salida de gas de humo, los cuales se calibran para rangos de temperatura más bajos y caudales volumétricos reducidos. La calibración para temperaturas más bajas y el caudal más reducido significan que se pueden materializar tremendos ahorros de costes al no tener que proporcionar equipos capaces de aguantar temperaturas más altas y caudales más grandes. Sin embargo, el menor rango de temperatura del gas de humo puede dar como resultado una condensación excesiva de vapor de trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) o de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que pueda estar presente en el gas de humo. Como resultado, se puede acumular ácido sulfúrico sobre superficies de los elementos de intercambio de calor 522 del precalentador de aire 50. La ceniza volante contenida en la corriente de gas de humo puede ser recogida por el ácido condensado que esté presente en las superficies de transferencia de calor. Este ácido hace que la ceniza volante se pegue más fuertemente a las superficies. Este proceso de "ensuciamiento" dificulta el flujo de aire y de gas de humo a través del precalentador de calor, dando como resultado una caída de presión incrementada a través del precalentador de aire más una menor efectividad de transferencia de calor.

Después de un periodo de tiempo, las acumulaciones de ácido y ceniza volante sobre superficies del precalentador de aire 50 se hacen tan grandes que tienen que ser retiradas a fin de mantener las prestaciones térmicas y una caída de presión aceptable en el precalentador de aire. Esto se realiza típicamente procedimiento periódicamente (por ejemplo, 3 veces al día) a "soplar el hollín" de la superficie de transferencia de calor con aire o vapor comprimido para retirar los depósitos que se hayan acumulado sobre la superficie de transferencia de calor mientras está funcionando el precalentador de aire. Además, si se requiere, puede realizarse un lavado del precalentador de aire con agua durante una interrupción del funcionamiento del sistema de generación de vapor 25 cuando se para el horno 26 y se ejecutan operaciones de mantenimiento.

Un beneficio potencial de la reducción de la temperatura de salida del gas de humo es que el sistema de retirada de partículas 70 y el equipo de restregado 80 pueden diseñarse para una temperatura de funcionamiento más baja. El gas de humo de temperatura más baja tiene también un caudal volumétrico más pequeño. La reducción de la temperatura, el volumen y la acidez del gas de humo reduce los costes de funcionamiento y de capital que están asociados con equipos diseñados para los caudales volumétricos más grandes, las temperaturas de funcionamiento más altas o las concentraciones de  $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$  más altas en el gas de humo. Estas condiciones existirían si no se condensara y/o neutralizara el ácido para impedir un ensuciamiento excesivo de las superficies de transferencia de calor. Una vez que el escape de gas de humo ha pasado por las operaciones de retirada de partículas y de restregado, se encuentra entonces listo para su introducción en la chimenea de escape 90 a fin de que se eleve y se disperse sobre una amplia área geográfica.

La extracción de calor de gases de humo es beneficiosa y se utiliza para ejecutar diversas operaciones en una planta típica. Sin embargo, en los sistemas existentes de generación de vapor que queman carbón y/o petróleo es costoso retirar un calor adicional de la corriente de gas de escape. Una excesiva reducción de la temperatura del gas de humo, sin considerar la condensación adicional de vapores de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en el gas de humo, dará como resultado un ensuciamiento excesivo de las superficies de transferencia de calor del precalentador de aire. Por tanto, existe en la industria la necesidad de abordar las deficiencias e inadecuaciones antes mencionadas.

## Sumario de la invención

La invención puede materializarse como un método de extraer calor de una corriente de gas de humo FG1 que tiene material ácido y partículas de gas de humo utilizando un precalentador de calor 250 que tiene una entrada de gas de humo 253, una salida de gas de humo 254 y una pluralidad de superficies de intercambio de calor 542, cuyo

método comprende los pasos de:

recibir una corriente de gas de humo FG1 en la entrada de gas de humo 253 del precalentador de aire 250;

calcular un caudal másico de material ácido que pasa en los gases de humo FG1;

5 calcular un caudal másico de partículas alcalinas 275 a inyectar en la corriente de gas de humo FG1 para neutralizar el material ácido;

inyectar partículas alcalinas 275 con una distribución de tamaños de partícula al caudal másico calculado en la corriente de gas de humo aguas arriba del precalentador de aire 250;

calcular un grado de acumulación de partículas;

10 basándose en el grado de acumulación de partículas, ajustar al menos uno de entre una distribución de tamaños de las partículas alcalinas 275 que se inyectan en los gases de humo y el caudal másico al cual se inyectan las partículas alcalinas 275 en los gases de humo;

reduciendo así la acumulación de partículas de gas de humo sobre los elementos de intercambio de calor 542, reduciendo además el ensuciamiento dentro del precalentador de aire y aumentando con ello la eficiencia térmica del precalentador de aire 250.

15 El grado de ensuciamiento puede calcularse midiendo una caída de presión a través del precalentador de aire 250 desde la entrada de gas de humo 253 hasta la salida de gas de humo 254 y comparando la caída de presión medida con al menos un umbral predeterminado.

20 Cuando se utiliza un precalentador de aire rotativo que tiene un rotor que es hecho girar por un motor alimentado por una corriente eléctrica I de voltaje variable V, se puede calcular el grado de ensuciamiento midiendo el voltaje V y la corriente eléctrica I, y comparando la corriente medida al voltaje medido con una corriente predeterminada para el mismo voltaje a fin de determinar una diferencia de corriente. La diferencia de corriente I se compara con una información de conversión prealmacenada para determinar un grado de ensuciamiento.

25 La presente invención puede materializarse también como un método de reducir el ensuciamiento de un precalentador de aire 250 utilizado para recuperar calor de un horno 26 que crea gases de humo con materiales ácidos y partículas de gas de humo, cuyo método comprende los pasos de:

habilitar un precalentador de aire 250 acoplado a dicho horno 26 para recibir dichos gases de humo FG1 en una entrada de gas de humo 253, hacerles pasar sobre una pluralidad de placas de intercambio de calor 542 y descargar dichos gases de humo por una salida de gas de humo 543;

detectar o calcular un caudal másico de material ácido en dichos gases de humo;

30 calcular un caudal másico de partículas alcalinas requeridas para neutralizar adecuadamente los materiales ácidos de los gases de humo;

inyectar las partículas alcalinas 275 al caudal másico calculado en los gases que entran en el precalentador de calor 250;

35 detectar una caída de presión desde la entrada de gas de humo 253 hasta la salida de gas de humo 254 del precalentador de aire 250;

aumentar el caudal másico de las partículas alcalinas 275 inyectadas en los gases de humo cuando la caída de presión detectada es mayor que un umbral predeterminado, y disminuir el caudal másico de las partículas alcalinas 275 inyectadas en los gases de humo cuando la caída de presión detectada es más baja que un umbral predeterminado; y

40 repetir los pasos anteriores durante el funcionamiento del horno 26 para reducir el ensuciamiento del precalentador de aire 250, permitiéndole que extraiga calor con mayor eficiencia. El calor adicional, más allá de los niveles que se consiguen con tecnologías corrientes de diseño de precalentadores de aire, puede ser extraído del gas de humo como resultado de una reducción de la temperatura de salida de gas del intercambiador de calor sin excesivas actividades de ensuciamiento o corrosión dentro del precalentador de aire, las cuales existirían si el  $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$  no fueran condensados ni neutralizados por el material alcalino inyectado en la corriente de gas de humo aguas arriba del precalentador de aire.

45 La presente invención puede materializarse también como un sistema de procesamiento de gas de escape y de recuperación de calor (EPHR) 215 para recuperar más eficientemente calor de un horno 26 que produce gases de humo calentados FG1 que tienen vapores ácidos y partículas de gas de humo arrastradas, cuyo sistema comprende:

un precalentador de aire 250 acoplado a dicho horno 26, teniendo el precalentador de aire 250:

una entrada de gas de humo 253 adaptada para recibir dichos gases de humo FG1,

una pluralidad de placas de intercambio de calor 522 para extraer calor de los gases de humo; y

5 una salida de gas de humo 254 para descargar la corriente de gas de humo FG2 después de que ésta haya pasado sobre las placas de intercambio de calor 522;

unos sensores de gas de humo 310 para vigilar las condiciones físicas y químicas dentro de los gases de humo;

unos sensores de caída de presión 301, 303 adaptados para medir la caída de presión desde la entrada 253 del precalentador de aire hasta la salida 254 de dicho precalentador de aire;

10 un sistema de inyección alcalina 276 que responde a señales de control procedentes de otro dispositivo para, al ser activado, introducir partículas alcalina 275 en una corriente de gas de humo FG1 aguas arriba de un precalentador de aire 250; y

15 un controlador PLC 305 adaptado para calcular un caudal másico de partículas alcalinas 275 en base a las condiciones de gas de humo detectadas; y adaptado para controlar el sistema de inyección alcalina 276 a fin de inyectar el caudal másico calculado de partículas alcalinas 275 para neutralizar los materiales ácidos de los gases de humo.

La presente invención puede materializarse también como un eficiente sistema de horno de bajo coste que tiene:

a. un horno de combustible fósil que produce gases de humo calentados;

20 b. un precalentador de aire acoplado al horno y adaptado para recibir los gases de humo calentados, neutralizar los ácidos contenidos en los gases de humo calentados, extraer aire de combustión calentado para el horno, extraer aire calentado adicional para utilizarlo en otro sitio del sistema, reducir la temperatura del gas de humo por debajo de un punto de rocío de ácido de gas de humo y reducir el volumen de los gases de humo que salen del precalentador; y

25 c. un equipo de procesamiento de gas de humo acoplado al precalentador y aguas abajo de éste, que es más compacto y menos costoso que los equipos utilizados en sistemas que no tienen precalentadores de aire que neutralicen ácidos de gas de humo.

Otros sistemas, métodos, características y ventajas de la presente invención serán o resultarán evidentes para un experto en la materia al examinar los dibujos y la descripción detallada siguientes. Se pretende que todos estos sistemas, métodos, características y ventajas adicionales queden incluidos dentro de la descripción, estén dentro del alcance de la presente invención y sean protegidos por las reivindicaciones que se acompañan.

### 30 **Breve descripción de los dibujos**

La presente invención puede comprenderse mejor y sus numerosos objetos y ventajas resultarán evidentes para los expertos en la materia haciendo referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

La figura 1A es un diagrama que ilustra un sistema típico de generación de vapor y un equipo de procesamiento de gas de escape asociado.

35 La figura 1B es un diagrama que ilustra una vista en perspectiva, con parte arrancada, de un precalentador de aire regenerativo rotativo convencional.

La figura 1C es un diagrama esquemático que ilustra otra vista en perspectiva del precalentador de aire regenerativo rotativo convencional de la figura 1B.

40 La figura 2A es un diagrama que ilustra en general una realización de un sistema de procesamiento de gas de escape y de recuperación de calor según la invención.

La figura 2B es un diagrama que ilustra en general otra realización de un sistema de procesamiento de gas de escape y de recuperación de calor según la invención.

La figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra una realización de un precalentador de aire que tiene una entrada de aire auxiliar.

### 45 **Descripción de la invención**

La finalidad de esta invención es proporcionar un medio para extraer más calor del gas de escape a medida que

éste pasa por el lado del gas del calentador de aire regenerativo sin que se ensucien o corroan excesivamente las superficies de transferencia de calor del equipo de aguas abajo del precalentador de aire regenerativo.

La presente invención se dirige a controlar la cantidad de ácido que se condensa y se acumula sobre los elementos de transferencia de calor de un precalentador de aire y a mejorar así la efectividad del precalentador de aire para extraer calor de una corriente de gas de humo FG1 procedente de la cámara de combustión de, por ejemplo, un horno. Otro aspecto de la invención se dirige a controlar la “humedad” del depósito sobre las superficies de transferencia de calor de modo que se pueda mantener el depósito en una condición que le permita (al depósito) ser retirado fácilmente mientras está en funcionamiento el precalentador de aire. Otro aspecto de la invención propuesta se dirige a un precalentador de aire que está configurado para permitir la distribución de calor adicional extraído de la corriente de gas de humo FG1 debido a la eficiencia incrementada del precalentador de aire para extraer calor de la corriente de gas de humo.

La reducción de la concentración de SO<sub>3</sub> que entra en el precalentador de aire, más un medio adicional para extraer calor del gas de humo a medida que pasa por el precalentador de aire, tendrá varios beneficios: (1) el flujo volumétrico del gas de humo que sale del calentador de aire será más bajo, (2) las temperaturas de precalentamiento de los flujos del lado del aire (generalmente llamados aire primario y aire secundario) pueden incrementarse y (3) se puede hacer que esté disponible energía adicional en forma de aire precalentado para su uso en otro sitio de la planta. Usos potenciales de esta energía potencial adicional son: precalentamiento del agua de alimentación de calderas, secado de carbón pulverizado, transporte del carbón pulverizado hasta los quemadores, suministro de energía a sistemas de captura de CO<sub>2</sub> postcombustión, recalentamiento de gas de chimenea para reducir la estela visible de vapor de agua o para otros usos en los que se necesite calor dentro de una planta energética.

La figura 2A y la figura 2B son diagramas que ilustran en general realizaciones de un sistema de procesamiento de gas de escape y de recuperación de calor 215 según la invención propuesta. La figura 2A es un diagrama que ilustra una realización de un EPRS 215 que incluye un sistema de inyección alcalina 276 para introducir interactivamente un sorbente de partículas alcalinas 275 en la corriente de gas de humo FG1 antes de que FG1 sea recibido por el precalentador de aire 250 a través de la entrada 253. El sistema de inyección alcalina 276 tiene la capacidad de introducir selectivamente diversas distribuciones de tamaños de las partículas alcalinas 275 en el sorbente.

En esta realización el EPRS 215 incluye un precalentador de aire regenerativo 250, un sistema de retirada de partículas 70 y un sistema restregador 80. Está previsto un ventilador FD 60 para introducir una corriente de aire A1 en el lado frío del precalentador de aire 250 a través de la entrada 251. El sistema de retirada de partículas 70 puede incluir, por ejemplo, un precipitador electrostático (ESP) y/o un sistema de filtro de tela (cámara de bolsas) o similar. El sistema restregador 80 puede incluir, por ejemplo, un sistema de desulfuración de gas de humo en húmedo o en seco (WFGD/DFGD).

Durante el funcionamiento del EPRS 215 se pueden combinar trióxidos de azufre (SO<sub>3</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O) en el gas de humo FG 1 para formar un vapor ácido en el rango de temperatura de funcionamiento del gas de humo aguas arriba del precalentador de aire 250. Una vez que el gas de humo que contiene este vapor ácido alcanza el precalentador de aire 250, entrará en contacto con diversas superficies del precalentador de aire 250, incluyendo los elementos de transferencia de calor (542 de la figura 1B), cuando se enfríe por debajo de su temperatura de punto de rocío de ácido, y se condensará y acumulará sobre dichas superficies. Esta acumulación de ácido condensado “estropeará” el funcionamiento del precalentador de aire al recoger y retener partículas de ceniza volante sobre la extensión de la superficie de transferencia de calor, dificultando así el flujo de gas de humo FG 1 a través del precalentador de aire 250. Esto da como resultado una excesiva caída de presión a través del precalentador de aire y una caída total en la transferencia efectiva de calor de la corriente de gas de humo FG 1 a la corriente de aire de entrada A1.

El vapor ácido y el ácido condensado pueden denominarse colectivamente “material ácido”.

Una realización de la presente invención emplea sensores de gas de humo 310 que vigilan los parámetros físicos y químicos del gas de humo. Dependiendo de su uso, estos sensores pueden estar localizados en la entrada o la salida o en otro lugar dentro del precalentador de aire 250.

Un controlador lógico programable (“controlador PLC”) 305 lee la información de los sensores y determina un caudal másico apropiado para neutralizar el material ácido de los gases de humo. Este caudal másico puede determinarse también por cálculo a partir de condiciones del aire y de quema de combustible que se transmiten desde el horno por diversos métodos de comunicación de datos en uso en los hornos que queman combustible fósil. Puede controlar también un sistema de inyección alcalina 276 que hace que se inyecte el caudal másico calculado de material alcalina correctamente dimensionado en los gases de humo aguas arriba de la entrada de gas de humo 253.

Las partículas alcalinas 275, tal como piedra caliza pulverizada u otros materiales alcalinos, se introducen como sorbente en la corriente de gas de humo FG1 aguas arriba del precalentador de aire 51 (es decir, antes de que la corriente de gas de humo FG1 alcance el precalentador de aire 50). Estas partículas sirven como sitios de

condensación dentro de la corriente de gas de humo FG1 para los vapores de ácido, y funcionan entonces para neutralizar el ácido condensado. Tanto la condensación como la neutralización del ácido tienen lugar dentro del precalentador de aire cuando se enfría el gas de humo a una temperatura que iniciará la condensación del vapor de ácido. La introducción de una cantidad de masa adecuada, por ejemplo una relación en masa de 1% a 25% entre las partículas alcalinas y la concentración de ceniza volante, en la corriente de gas de humo FG1, a medida que ésta pasa por el precalentador de aire 250, hace que se neutralice la mayor parte del ácido. Sin embargo, la introducción de material alcalino en la corriente de gas de humo estrictamente sobre una base estequiométrica no da como resultado el más efectivo control del ensuciamiento causado por la acumulación de ácido dentro del precalentador 250. Para controlar más efectivamente la creación y acumulación de ácido dentro del precalentador de aire se propone que las partículas alcalinas que se introducen en la corriente de gas de humo FG1 tengan un rango variable de tamaños (diámetros).

Midiendo el gradiente de temperatura del gas de humo a medida que pasa por las superficies de transferencia de calor dentro del precalentador de aire, y controlando la cantidad de masa y la distribución de tamaños de las partículas alcalinas que se introducen en la corriente de gas de humo FG1, es posible controlar el grado en que el ácido se condensa y permanece sobre la superficie de transferencia de calor y en el gas de humo a medida que este gas de humo pasa por el precalentador de aire 250.

El tamaño de las partículas de ceniza volante producidas por la combustión típica de carbón, varía de menos de 0,01 micrómetros a más de 100 micrómetros. Las partículas de diámetro más pequeño de ceniza volante u otro material en partículas de la corriente de gas de humo FG1, generalmente de menos de 5 micrómetros de diámetro, tienden a proporcionar un buen núcleo para la condensación y la neutralización potencial del vapor de  $H_2SO_4$  que pueda existir en la corriente de gas de humo FG1.

Si la condensación da como resultado un depósito sobre la superficie de transferencia de calor que no puede ser retirado por métodos de limpieza empleados mientras está en funcionamiento el precalentador de aire, el depósito se acumulará hasta el punto de que no pueda mantenerse el funcionamiento normal de precalentador de aire. Sin embargo, cuando se combina el proceso de condensación con el proceso de neutralización que puede tener lugar cuando se inyecta en la corriente de gas de humo una cantidad de masa adecuada de materiales alcalinos de la apropiada distribución de tamaños de partículas, se puede mantener un funcionamiento satisfactorio del calentador de aire. El proceso de neutralización dará como resultado la reducción de la cantidad de ácido que permanece sobre la superficie de transferencia de calor y está incrustada en los depósitos de partículas dentro del precalentador de aire.

Un factor importante en la efectividad del control del ensuciamiento dentro del precalentador de aire es el lugar en el que las partículas de gas de humo y las partículas alcalinas del gas de humo hacen contacto con las diversas superficies de transferencia de calor de los elementos de intercambio del precalentador de aire (542 de la figura 1B), así como el tamaño de estas partículas. Las partículas más pequeñas tienen una mayor tendencia a seguir al flujo del gas de humo y una menor tendencia a chocar con la superficie de los elementos de intercambio de calor. Las partículas grandes, generalmente de más de 15 micrómetros, tienen más impulso y una mayor tendencia a impactar contra la superficie de los elementos de intercambio de calor. Las partículas grandes tienen también una mayor tendencia a desprenderse de las superficies de los elementos de intercambio de calor (sin acumularse sobre ellas) si hay poco ácido o no hay ácido presente sobre la superficie de la partícula o sobre la superficie de los elementos de intercambio de calor. Las partículas grandes pueden actuar también "restregando" o erosionando partículas pequeñas de las superficies del precalentador de aire, tales como los elementos de transferencia de calor, si las pequeñas partículas no están fuertemente adheridas a la superficie.

La inyección de partículas alcalinas aguas abajo del precalentador de aire se hace típicamente para controlar las emisiones de la estela de  $SO_3$  y para reforzar la retirada de mercurio por la cámara de bolsas o el precipitador. Sin embargo, esto no impacta en el ensuciamiento del precalentador de aire.

En la presente invención las partículas alcalinas se inyectan en los conductos aguas arriba de la entrada de gas al precalentador de aire. Tienen que distribuirse a través del sistema de inyección para asegurar que haya un suministro adecuado del material alcalino que se disperse uniformemente por toda la sección transversal de los conductos para asegurar que puedan tener lugar los procesos de condensación y neutralización una vez que la corriente de gas de humo entre en el precalentador de aire y sea enfriada hasta su temperatura de punto de rocío o entre en contacto con las superficies de transferencia de calor dentro del calentador de aire que están por debajo de la temperatura del punto de rocío de ácido.

Cuando gases de humo que contienen entre óxido de azufre y vapor de agua están a una temperatura por debajo del punto de rocío de ácido, se condensa ácido sulfúrico formando un líquido. La condensación tendrá lugar sobre superficies situadas dentro del precalentador de aire que tienen temperaturas que están por debajo de la temperatura de punto de rocío local, y, tras un enfriamiento adicional, esta condensación puede tener lugar también dentro de la propia corriente de gas.

Cuando la corriente de gas alcanza un estado supersaturado, se puede condensar ácido sulfúrico por

autonucleación en ausencia de partículas arrastradas. Esto tiene lugar generalmente cuando la temperatura del gas de humo está por debajo del punto de rocío de ácido local. Si la corriente de gas contiene partículas arrastradas, estas partículas actúan como sitios de nucleación, y se produce condensación a temperaturas más próximas al punto de rocío local.

5 En general, y cuando están presentes, las partículas pequeñas son las primeras en producir un condensado cuando éste aparece dentro de la corriente de gas. Esto se debe al hecho de que las partículas pequeñas tienen unas relaciones de área específica a volumen más altas, y esto permite que sigan más estrechamente a la temperatura del gas de humo durante la refrigeración. Las partículas grandes tienen menores relaciones que hacen que retengan más calor, y, tras su enfriamiento, permanecen más calientes que el gas de humo circundante. Por tanto, para  
10 condensar preferencialmente y neutralizar químicamente ácido sobre una partícula alcalina inyectada, en contraste con la condensación sobre ceniza volante natural con poca capacidad neutralizante debido a su composición, el tamaño de la partícula deberá ser pequeño en comparación con la mayoría de las partículas de ceniza volante natural.

15 Como se ha indicado anteriormente, la condensación de ácido comienza sobre las superficies de transferencia de calor con temperaturas en o por debajo del punto de rocío de ácido. Para consumir adecuadamente este ácido hasta un nivel que dé como resultado un depósito sobre las superficies de transferencia de calor que pueda ser retirado por soplado de hollín o lavado con agua, las partículas alcalinas tienen que depositarse sobre las superficies de transferencia de calor humedecidas con ácido a una tasa adecuada que neutralice apropiadamente el ácido de la ceniza volante. Así, en este lugar el cometido de la partícula alcalina tiene poco en común con el de un sitio de  
20 nucleación óptima, y sus requisitos de tamaño son diferentes.

El impulso físico de las partículas arrastradas por gas es el medio por el cual la mayoría de las partículas alcanzan las superficies de los elementos de transferencia de calor dentro del precalentador de aire. Suponiendo que todas las partículas tengan la misma densidad y se desplacen a través del precalentador de aire con una velocidad igual a la del gas de humo circundante, las partículas pequeñas tienen un impulso menor debido a su masa más baja. Por  
25 tanto, dadas unas cantidades iguales arrastradas en el gas de humo, las partículas pequeñas tendrán una menor tasa de deposición sobre las superficies de transferencia de calor. Si se requieren tasas de deposición mayores para consumir el ácido condensado sobre la superficie de transferencia de calor, puede ser preferible un tamaño grande de las partículas alcalinas en comparación con un incremento de la cantidad de partículas alcalinas pequeñas en la corriente de gas.

30 Se pueden conseguir tasas de inyección óptimas para partícula alcalinas cuando la distribución de tamaños de las partículas responde a los dos propósitos diferentes presentados más arriba. Es probable que la distribución de tamaños sea bimodal, incluyendo rangos de tamaños de partículas tanto pequeños como grandes.

Es posible localizar, además, el sitio en que se condensará ácido dentro del precalentador de aire.

35 Es posible también calcular y alterar la distribución de partículas alcalinas para "dianizar" lugares del precalentador de aire donde depositar las partículas alcalinas.

A medida que el gas de humo pasa por el precalentador de aire, dicho gas se enfría. Esto hace que se cree un gradiente de temperatura. Conociendo la temperatura de entrada y la temperatura de salida se puede estimar el gradiente a través del precalentador de aire.

40 A medida que el gas de humo pasa por el precalentador de aire, dicho gas pierde velocidad de flujo. Nuevamente, se puede estimar este gradiente de velocidad conociendo la velocidad de entrada y la velocidad de salida.

Las partículas alcalinas están sometidas a la fuerza de los gases de humo fluyentes. La fuerza del gas de humo ejercida sobre una partícula depende de la velocidad del gas de humo, la resistencia al viento de la partícula y el peso de la partícula.

45 Las partículas tienen también impulso debido a su movimiento. El impulso de la partícula se basa en la velocidad y la masa de dicha partícula.

Cuando la fuerza del gas de humo no es lo bastante grande como para cambiar el impulso de la partícula alejándola de una superficie, dicha partícula impacta en la superficie. Si la superficie tiene ácido condensado, es muy probable que la partícula se pegue a la superficie. Si la partícula es una partícula alcalina, ésta neutraliza algo del ácido condensado.

50 Las partículas más pequeñas tienen una alta relación de área específica/masa y, por tanto, una gran resistencia al viento por unidad de masa. Las partículas más pequeñas tienen una menor relación de área específica a masa y tienen menos resistencia al viento por unidad de masa y son menos afectadas por la fuerza del gas de humo.

Para la misma velocidad, las partículas con mayor masa tendrán un impulso más fuerte.

Suponiendo la misma densidad para todas las partículas, las partículas más grandes tienen una masa mayor.

A medida que las partículas se desplazan a través del precalentador de aire, pierden velocidad. Si las fuerzas del gas de humo se hacen suficientemente débiles (debido a la velocidad más baja) de modo que no puedan alterar el impulso de la partícula alejándola de una superficie, las partículas impactarán en superficies dentro del precalentador de aire.

La distancia que las partículas se desplazan a través del precalentador de aire antes de impactar en una superficie depende del tamaño de dichas partículas. Las partículas muy pequeñas pueden ser transportadas con el gas de humo fuera del precalentador sin impactar en absoluto sobre una superficie. Por tanto, el tamaño de las partículas es indicativo del lugar en que se depositará una partícula, y la distribución de tamaños de partículas indica cuántas partículas se depositarán en diversos lugares dentro del precalentador de aire. Si la distribución de tamaños de partículas es continua dentro de un rango de tamaños apropiado, entonces las partículas cubrirán como una manta una región contigua dentro del precalentador de aire. Por tanto, si se determina el lugar en el que se condensarán los ácidos, se puede elegir la distribución de tamaños de partículas de modo que la mayoría de las partículas se depositen en los lugares en los que se espera que se condense ácido.

La cantidad de masa de material alcalino y la distribución de tamaños de partículas de material alcalino son factores para controlar el grado de ensuciamiento dentro del precalentador de aire. La cantidad total de material alcalino introducido en la corriente de gas de humo FG1 tiene que ser adecuada, pero tiene que preverse también la distribución de tamaños de partículas de modo que las partículas alcalinas contacten realmente con los lugares de la superficie de transferencia de calor dentro del precalentador de aire en puntos en los que tiende a producirse condensación/acumulación de ácido. A medida que se neutraliza y consume el ácido en la corriente de gas de humo FG1, las acumulaciones se vuelven menos pegajosas y pueden ser retiradas más fácilmente con tecnologías de soplado de hollín y/o lavado con agua. Sin ácido condensado presente en la corriente de gas de humo FG1 o sobre la superficie de transferencia de calor, las partículas, tal como ceniza volante, no forman un depósito con propiedades de fuerte adherencia sobre la superficie de los elementos de intercambio de calor y, por tanto, no se acumularán sobre los elementos de intercambio de calor hasta el espesor que dificultará el flujo de gas de humo FG1 a través del precalentador de aire. Cuanto menos se dificulte el flujo de gas de humo FG1 a través del precalentador de aire, tanto más calor puede extraer el precalentador de aire de la corriente de gas de humo FG1.

En una realización de la invención propuesta las partículas alcalinas que se introducen en la corriente de gas de humo FG1 tienen una distribución bimodal de tamaños de partículas. Estas partículas alcalinas incluyen partículas "pequeñas" y partículas "grandes". Las partículas pequeñas están dimensionadas preferiblemente de modo que se encuentren dentro de un rango de 1 micrómetro a 15 micrómetros de diámetro, mientras que las partículas grandes están dimensionadas de modo que se encuentren dentro de un rango de 15 micrómetros a 150 micrómetros. En general, todas las partículas introducidas en la corriente de gas de humo FG1 estarán dentro de un rango de tamaños de 1 micrómetro a 250 micrómetros de diámetro. La cantidad de masa de material alcalino que se requiere inyectar en FG1 es función de la concentración de  $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$  en FG1, el caudal de gas de humo, la cantidad de masa de ceniza volante en FG1 y la composición química de la ceniza volante en FG1. En general, cuanto mayor sea la concentración de  $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$  en FG1, tanto mayor será la cantidad de masa de material alcalino que tiene que inyectarse. Una ceniza volante con un contenido alcalino más alto requerirá generalmente menos inyección de material alcalino en FG1 debido a que la alcalinidad natural de la ceniza volante ayudará a la neutralización y consumo de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en la corriente de gas de humo. Las partículas alcalinas se introducen preferiblemente en la corriente de gas de humo FG1 antes de que la corriente de gas de humo FG1 alcance el precalentador de aire. Los sensores de gas de humo 310 pueden incluir un sensor de caudal de gas de humo, un sensor de concentración de partículas y/o un sensor de muestreo para medir la alcalinidad de las partículas de gas de humo.

Estas partículas pueden introducirse en la corriente de gas de humo FG1, por ejemplo, como un material seco o como una suspensión líquida que se inyecta a través de un sistema de distribución, tal como, por ejemplo, unas toberas de pulverización o unos dispositivos de inyección (inyectores) para introducir las partículas en las corrientes de gas de humo FG1. El sistema de distribución puede instalarse en los conductos de entrada de gas que llevan al precalentador de aire. El sistema de distribución está configurado preferiblemente de manera que dé como resultado una distribución uniforme y adecuada del material alcalino a través de la corriente de gas de humo FG1 a medida que ésta entra en el precalentador de aire. El sistema de distribución alcalina 276 puede emplear aire comprimido destinado a ser utilizado como medio de transporte para la inyección en seco, o bien podría utilizarse agua suministrada a través de una o más bombas como el medio de transporte para la inyección en húmedo. La inyección en seco es el método preferido para introducir las partículas alcalinas en FG1, pero un sistema en húmedo, diseñado para proporcionar un tiempo de permanencia adecuado en FG1 para la evaporación del agua y el secado de las partículas alcalinas, es también un método adecuado.

La cantidad de masa por unidad de tiempo de material alcalino inyectado puede controlarse vigilando varios parámetros de funcionamiento asociados con el funcionamiento del precalentador de aire y de la planta. Esta información puede recogerse en el sistema de control general de la planta o puede obtenerse mediante la instalación de una instrumentación específica de recogida de datos. Esta entrada es proporcionada a un controlador PLC 305

que controla un sistema de inyección alcalina 276. La cantidad de sorbente a inyectar será función del caudal másico y de la temperatura del gas de humo que entra en el calentador de aire, más la concentración del  $\text{SO}_3$  y del vapor de agua en el gas que entra en el calentador de aire. El contenido de  $\text{SO}_3$  en el gas de humo que entra en el precalentador de aire podría calcularse a partir del contenido de azufre del combustible, la relación aire/combustible en el horno y, además, la temperatura del gas de humo que sale del horno y del sistema de catalizador instalados aguas arriba del precalentador de aire. El contenido de  $\text{SO}_3$  en el gas de humo puede calcularse a partir de las características de eficiencia de combustión del sistema de quemado de combustible. La mayoría de estos parámetros pueden leerse en un controlador de sistema industrial (no mostrado) que se utiliza para hacer que funcione el horno 26, pueden medirse directamente en la corriente de gas de humo por medio de los sensores de gas de humo 310 o pueden medirse por medio de una instrumentación de química en húmedo u otra instrumentación adecuada que está comercialmente disponible. Como regla general, cuanto más baja sea la temperatura del gas de humo que sale del precalentador de aire, tanto más baja será la temperatura de las superficies de la transferencia de calor dentro del precalentador de aire. Por tanto, la cantidad de ácido condensada y acumulada sobre las superficies de transferencia de calor aumentará a medida que se disminuya la temperatura de salida del gas. Como resultado, una temperatura de salida más baja del gas o un funcionamiento a temperatura más baja de la superficie de transferencia de calor requerirá una inyección de caudal másico de sorbente más alto para impedir un ensuciamiento excesivo del precalentador de aire con un depósito que esté demasiado "húmedo" para ser retirado.

Un beneficio añadido de las partículas alcalinas grandes puede ser su tendencia natural a ayudar al "restregado" de los depósitos presentes sobre las superficies de transferencia de calor. Una vez más, el tamaño de las partículas que produce el efecto de restregado tendrá poco en común con el tamaño de un sitio de nucleación óptima y pueden no ser igual al tamaño de una partícula destinada a consumir ácido condensado sobre la superficie de transferencia de calor.

Los parámetros anteriores se miden y se alimentan como entradas al controlador PLC 305. El controlador PLC 305 puede utilizarse para controlar la distribución de tamaños de partículas y/o la cantidad de sorbente alcalino inyectado en el precalentador de aire durante todo el intervalo de funcionamiento. Por ejemplo, a medida que se reduce el flujo másico del gas de humo que entra en el precalentador de aire 250, el controlador PLC 305 recalculará la cantidad de sorbente requerida como resultado de este cambio, al tiempo que se factoriza también el estado actual de los demás parámetros que se están midiendo para completar el cálculo de la cantidad requerida de flujo másico del sorbente y su distribución de tamaños de partículas asociada, y enviará una señal al sistema de inyección alcalina para ajustar la cantidad de sorbente inyectada o la distribución de los tamaños de partícula. Si se reduce (o se aumenta) el contenido de azufre del combustible, esta entrada sería alimentada al controlador PLC 305 y, en combinación con el conocimiento del estado actual de los demás parámetros señalados más arriba, se ajustarían la cantidad y el dimensionamiento del sorbente a inyectar.

Los sensores de gas de humo 310 pueden incluir un sensor de caudal para determinar el caudal del gas de humo que está fluyendo a través del precalentador 250, un sensor de concentración de partículas para medir las partículas del gas de humo, sensores de temperatura y opcionalmente sensores de muestreo para determinar las propiedades químicas de las partículas del gas de humo. El controlador PLC 305 lee la información de estos sensores para calcular interactivamente el caudal másico apropiado de las partículas alcalinas 275 a inyectar por el sistema de inyección alcalina 276.

Sería deseable cambiar la distribución de tamaños de partículas del sorbente que se está inyectando a fin de optimizar la localización de la deposición del sorbente sobre la superficie de transferencia de calor. El objetivo es predecir la localización de la distribución de la masa del ácido condensado sobre la superficie de transferencia de calor y dimensionar las partículas del sorbente de modo que su impulso refuerce la distribución del material sorbente sobre la superficie de transferencia de calor en relación directa con la localización de la distribución del ácido condensado. De esta manera, se puede depositar la relación de material sorbente del dimensionamiento apropiado sobre la superficie de transferencia de calor en la localización óptima para que reaccione con la cantidad de ácido condensado en un lugar dado.

Además de la lógica de control anterior, una caída de presión a través del precalentador de calor 250 sería continuamente medida por los sensores 301, 303 y comparada con el umbral calculado (definido en un algoritmo instalado en el controlador PLC 305) en función de los caudales y las temperaturas del lado del gas de humo y del lado del aire.

La caída de relación de presión predicha en función del tiempo que se desearía que existiera entre ciclos de soplado de hollín de la superficie de transferencia de calor sería también una entrada para el controlador PLC 305. Si se incrementara la caída de presión real a un ritmo más rápido, esto sería indicativo de una acumulación de un depósito de ceniza volante y de ácido sulfúrico sobre la superficie de transferencia de calor debido a una cantidad inadecuada de masa de inyección de sorbente, una incorrecta distribución de tamaños de partículas del material sorbente o un funcionamiento inapropiado del sistema de inyección alcalina 276.

El controlador PLC 305 aumentaría la tasa de inyección de sorbente en un intento por hacer que la relación de

caída de presión a través del calentador de aire en función del tiempo retorne al nivel apropiado. Además, se alteraría el dimensionamiento del material sorbente evaluando los diversos parámetros de funcionamiento utilizados para controlar el sistema y enviando la señal apropiada al sistema de pulverización para alterar el dimensionamiento del material sorbente según lo determinado por el algoritmo del controlador PLC 305. Es de hacer notar que no sería aplicable el proceso de dimensionamiento de partículas de sorbente si se inyectara el sorbente a través de una suspensión o una solución.

Recíprocamente, si el aumento de la tasa de caída de presión estuviera por debajo del nivel predicho en base a las condiciones de funcionamiento reales calculadas en el controlador PLC 305, se disminuiría la tasa de inyección de sorbente para reducir los costes de funcionamiento.

Durante el ciclo de soplado de hollín se deberá retirar la ceniza volante que se haya acumulado sobre la superficie de transferencia de calor desde el último ciclo de soplado de hollín, y se reduciría la caída de presión resultante a través del precalentador de aire. Sin embargo, si el depósito está demasiado "húmedo" debido a la presencia de ácido sulfúrico no neutralizado, este depósito no será retirado durante el ciclo de soplado de hollín. Por tanto, para un caudal másico y una temperatura dados del gas de humo se tiene que, si la relación de caída de presión del precalentador de aire en función del tiempo es mayor que el perfil estándar que sería introducido en el controlador PLC 305, esto indicaría que no está disponible suficiente sorbente en el gas de humo y/o que la distribución de tamaños de partículas del material sorbente es incorrecta para las actuales condiciones de funcionamiento. Se enviaría una señal del controlador PLC 305 al sistema de inyección alcalina 276 para aumentar la tasa de inyección de sorbente y/o alterar la distribución de tamaños de partículas del sorbente.

Si se está proporcionando la tasa en masa apropiada de partículas alcalinas 275 de acuerdo con el controlador PLC 305 y la caída de presión excede del umbral calculado, se proporciona como sorbente 275 una razón relativa mayor de partículas grandes a partículas pequeñas. Una cantidad mayor de partículas grandes entrarán en contacto con las superficies de transferencia de calor y neutralizarán y consumirán los ácidos que retienen partículas en las superficies. Si la caída de presión detectada está por debajo del umbral, se proporciona una razón relativa más pequeña de partículas alcalinas grandes a pequeñas, permitiendo que actúen más partículas pequeñas como sitios de nucleación en los gases de humo.

El controlador PLC 305 puede controlar opcionalmente un pulverizador 277 para ordenar el pulverizador que triture partículas alcalinas 275 de un tamaño deseado o una distribución de tamaños deseada.

Otros parámetros de funcionamiento que podrían integrarse en el controlador PLC 305 para determinar la tasa de inyección de sorbente son el voltaje y el amperaje del motor eléctrico que se utiliza para accionar el rotor (512 de la figura 1B) del precalentador de aire 250. A medida que aumenta la masa de los depósitos de partículas sobre la superficie de transferencia de calor del precalentador de aire, aumentará el peso total del rotor. Para un voltaje dado alimentado al motor, esto hará que la absorción de amperaje por el motor aumente debido a la fricción adicional en el sistema de cojinetes de soporte del rotor como resultado del peso incrementado del rotor sobre el conjunto de cojinetes. Por tanto, el voltaje y el amperaje del motor de accionamiento del rotor serían continuamente medidos y alimentados al controlador PLC 305 e incluidos en el cálculo global para determinar la tasa de inyección en masa y la distribución de tamaños de partículas del sorbente. La lógica de control PLC incluiría el amperaje diana a mantener y el rango de oscilación de amperaje aceptable que pudiera resultar de la acumulación normal de ceniza volante sobre la superficie de transferencia de calor que tendría lugar durante los ciclos de soplado de hollín para la superficie de transferencia de calor. El controlador PLC 305 incluiría los métodos de cálculo para acomodar las oscilaciones de voltaje que pudieran producirse y, por tanto, para ajustar el nivel de amperaje diana a mantener en función de los niveles de voltaje actuales, si fuera necesario.

Como se ha hecho notar anteriormente, la introducción de partículas alcalinas en la corriente de gas de humo FG1 incrementa en gran medida la efectividad del precalentador de aire para capturar más calor de la corriente de gas de humo FG1 y reduce el ensuciamiento de la superficie de transferencia de calor. Esto permite que se reduzca la temperatura de salida del gas de humo que abandona el calentador de aire. Las limitaciones prácticas de diseño y coste tienden a determinar la temperatura a la que el aire precalentado saldrá del precalentador de aire. Sin embargo, se puede conseguir la máxima reducción de la temperatura de salida del gas al tiempo que se mantiene la temperatura deseada del aire que sale del precalentador de aire aumentando el flujo másico de aire que pasa por el precalentador de aire. En vista de esto, pueden hacerse algunas previsiones para distribuir el calor en exceso en forma de flujo másico adicional del lado del aire calentado para operaciones distintas de las operaciones del horno.

En otra realización de la invención propuesta (véase la figura 2B) se ha habilitado un precalentador de aire 250 que está configurado para distribuir el calor extraído del gas de humo FG1 hacia el horno 26 a través de la corriente de aire A2 y para otros fines a través de una o más corrientes de aire auxiliares A3 y/o B2. Los posibles usos para estas corrientes de aire auxiliares pueden incluir, por ejemplo, operaciones de secado y trituración en molino de carbón y/o procesos de precalentamiento de agua de alimentación de caldera, calentamiento in situ o enfriamiento, precalentamiento del aire que entra en el precalentador de aire por recirculación directa de una porción del aire calentado que sale del calentador de aire hacia el lado de entrada del precalentador de aire de modo que se mezcle con el aire ambiente antes de incrementar la temperatura del flujo de aire que entra en el calentador de aire, y

5 calentamiento indirecto del aire ambiente mediante el uso de un intercambiador de calor en el que se utiliza una porción del aire caliente que sale del calentador de aire para precalentar el aire ambiente entrante antes de su entrada en el precalentador de aire regenerativo. Hay usos adicionales, tales como usos fuera de su sitio para calentamiento por distritos en procesos industriales que requieren una fuente de aire calentado y energía térmica proporcionada a sistemas de captura de CO<sub>2</sub>, incluyendo, pero sin limitación, procesos de inyección de amoníaco o amina bruscamente enfriados.

10 Con referencia a la figura 2B, el EPRS 215 incluye un precalentador de aire regenerativo 250, un sistema de retirada de partículas 70 y un sistema restregador 80. Está previsto un ventilador FD 60 para introducir una corriente de aire A1 en el lado frío del precalentador de aire 250 a través de la entrada 251. Como se ha descrito antes, el sistema de retirada de partículas 70 puede incluir un ESP y/o un sistema de filtro de tela o similar. El sistema restregador 80 puede incluir un sistema WFGD/DFGD.

En esta realización se ha previsto un ventilador FD adicional 260 para introducir una corriente de aire auxiliar B1 en el lado frío del precalentador de aire 250 a través de la entrada 256.

15 La figura 3B es un diagrama que ilustra en general otros detalles de un precalentador de aire 250 configurado para proporcionar una corriente alterna de aire calentado a ciertas operaciones predefinidas distintas de las realizadas en la cámara de combustión del horno.

20 Con referencia a la figura 3, el precalentador de aire 250 está configurado para incluir una entrada 251 destinada a recibir una corriente de aire A1 y una entrada de aire auxiliar 256 destinada a recibir una corriente de aire auxiliar B1. Está prevista una salida 252 para entregar una corriente de aire calentada A2 a un horno (26 de la figura 2B). Está prevista también una salida auxiliar 255 para entregar una segunda corriente de aire calentado B2 a una o más operaciones predeterminadas o piezas de equipo predeterminadas, tal como un molino (270 de la figura 2B). Al tener dos salidas separadas 252 y 255, las corrientes de aire calentado A2 y B2 pueden ser controladas por separado y se puede extraer de la corriente de gas de humo FG1 una cantidad de calor que es mayor que la necesaria para el funcionamiento apropiado del horno (26 de la figura 2B). Las corrientes de aire calentado A3, B2 pueden ser canalizadas fácilmente para su uso en otras aplicaciones asociadas con las operaciones de la planta de vapor u otras operaciones relacionadas con la planta. Además, al disponer dos entradas de aire A1 y B1, es posible controlar de manera selectiva o variable la entrada de aire al precalentador de aire. Los principios y conceptos revelados y reivindicados en esta memoria son aplicables a todos los dispositivos/sistemas precalentadores de aire, incluyendo, pero sin limitación, dispositivos y sistemas precalentadores de aire de dos sectores, tres sectores y 30 cuatro sectores.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un método de extraer calor adicional de una corriente de gas de humo FG1 que tiene material ácido y partículas de gas de humo utilizando un precalentador de aire (250) que tiene una entrada de gas de humo (253), una salida de gas de humo (254) y una pluralidad de superficies de intercambio de calor (542), cuyo método comprende los pasos de:
- a. recibir una corriente de gas de humo FG1 en la entrada de gas de humo (253) del precalentador de aire (250);
- b. calcular un caudal másico de material ácido que pasa en los gases de humo FG1;
- c. calcular un caudal másico de partículas alcalinas (275) a inyectar en la corriente de gas de humo FG1 para neutralizar el material ácido;
- 10 d. inyectar las partículas alcalinas (275) con una distribución de tamaños de partículas calculados al caudal másico calculado en la corriente de gas de humo aguas arriba del precalentador de aire (250) en un lugar que permita un mezclado apropiado de las partículas alcalinas con el gas de humo antes de la entrada en el precalentador de aire;
- e. calcular un grado de acumulación de partículas de gas de humo;
- 15 f. basándose en el grado de acumulación calculado de las partículas de gas de humo (275), ajustar al menos uno de entre:
- i. un caudal másico al cual se inyectan las partículas alcalinas en los gases de humo;
- ii. una distribución de tamaños de las partículas alcalinas (275) que se inyectan en los gases de humo de tal manera que:
- 20 se inyecte un mayor porcentaje relativo de partículas grandes cuando la caída de presión sea más alta que un umbral predeterminado para hacer que un mayor número de partículas alcalinas (275) contacten con los elementos de intercambio de calor (542) y se adhieran a ellos, y neutralicen el material ácido que se condensa sobre estos elementos (542), y
- se inyecte un pequeño porcentaje relativo de partículas grandes cuando la caída de presión sea inferior a un umbral predeterminado
- 25 g. en donde las partículas alcalinas inyectadas actúan para reducir la acumulación de las partículas de gas de humo sobre los elementos de intercambio de calor (542), reducir el ensuciamiento y la corrosión de las superficies de transferencia de calor y los componentes internos del precalentador de aire (250), y aumentar la eficiencia térmica del precalentador de aire (250).
- 30 2. El método de la reivindicación 1, en el que las partículas alcalinas pequeñas tienen un diámetro de 1 a 150 micrómetros.
3. El método de la reivindicación 1, en el que las partículas alcalinas grandes tienen un diámetro de 150 a 250 micrómetros.
4. El método de la reivindicación 1, en el que el paso de ajustar una distribución de tamaños de las partículas alcalinas (275) comprende el paso de:
- 35 ajustar una distribución de tamaños de las partículas alcalinas (275) controlando el funcionamiento de un pulverización (277) para producir la cantidad requerida en masa de material alcalino, y dimensionar el material alcalino con la distribución deseada.
5. El método de la reivindicación 1, en el que paso de calcular un grado de acumulación de partículas de gas de humo comprende los pasos de:
- 40 a. medir una caída de presión a través del precalentador de aire (250) desde la entrada de gas de humo (253) hasta la salida de gas de humo (254);
- b. comparar la caída de presión medida con al menos un umbral predeterminado para dar como resultado un grado de acumulación de partículas de gas de humo.
- 45 6. El método de la reivindicación 1, en el que el precalentador de aire (250) es un precalentador de aire rotativo que tiene un rotor que es hecho girar por un motor accionado por una corriente eléctrica I de voltaje variable V, y el paso de calcular un grado de acumulación de partículas de gas de humo comprende los pasos de:

- a. medir el voltaje V y la corriente eléctrica I;
- b. comparar la corriente medida al voltaje medido con una corriente predeterminada para el mismo voltaje a fin de determinar una diferencia de corriente;
- 5 c. comparar la diferencia de corriente con información de conversión prealmacenada para determinar un grado de acumulación de partículas de gas de humo.
7. Un sistema de procesamiento de gas de escape y de recuperación de calor (EPHR) (215) para recuperar más eficientemente calor de un horno (26) que produce gases de humo calentados FG1 que tienen vapores de ácido y partículas de gas de humo arrastradas, cuyo sistema comprende:
- a. un precalentador de aire (250) acoplado a dicho horno (26), teniendo el precalentador de aire (250):
- 10 una entrada de gas de humo (253) adaptada para recibir dichos gases de humo FG1,  
una pluralidad de placas de intercambio de calor (542) para extraer calor de humo; y  
una salida de gas de humo (254) para descargar los gases de humo FG2 después de que hayan pasado sobre las placas de intercambio de calor (542);
- b. unos sensores de gas de humo (310) para vigilar las condiciones físicas y químicas dentro de los gases de humo;
- 15 c. unos sensores de caída de presión (301, 303) adaptados para medir la caída de presión desde la entrada (253) del precalentador de aire hasta la salida (254) de dicho precalentador de aire;
- d. un sistema de inyección alcalina (276), que responde a señales de control procedentes de otro dispositivo, para introducir, al ser activado, partículas alcalinas (275) en los gases de humo FG1 aguas arriba de un precalentador de aire (250); y
- 20 e. un controlador PLC 305 adaptado para:
- calcular un caudal másico de partículas alcalinas (275) en base a las condiciones detectadas del gas de humo; y
- 25 controlar el sistema de inyección alcalina (276) para ajustar una razón relativa de partículas pequeñas a partículas grandes de las partículas alcalinas (275) en base a la caída de presión medida desde la entrada de gas de humo (253) hasta la salida de gas de humo (254); e
- inyectar el caudal másico calculado de partículas alcalinas (275) que tiene la razón relativa ajustada de partículas pequeñas a partículas grandes para neutralizar los materiales ácidos presentes en los gases de humo.
8. El sistema EPHR de la reivindicación 7, en el que los sensores de gas de humo (310) incluyen al menos uno de entre:
- 30 a. un sensor de caudal adaptado para medir el caudal másico de los gases de humo;
- b. un sensor de partículas adaptado para medir la concentración de partículas de gas de humo en los gases de humo; y
- 35 c. un sensor de muestreo adaptado para medir al menos un parámetro químico de las partículas de gas de humo presentes en los gases de humo.
9. El sistema EPHR (215) de la reivindicación 7, en el que el controlador PLC (305) está adaptado, además, para calcular un caudal másico de partículas alcalina en base a:
- 40 el caudal másico de los gases de humo, el contenido de humedad del gas de humo, la concentración de material ácido, la concentración de partículas de gas de humo y la composición química detectada de las partículas de gas de humo.
10. El sistema EPHR (215) de la reivindicación 7, en el que el sistema de inyección alcalina (276) está configurado para introducir partículas alcalinas (275) que tienen un rango de tamaños.
11. El sistema EPHR (215) de la reivindicación 7, en el que el precalentador de aire (250) comprende una salida auxiliar para entregar una segunda corriente de aire calentado.
- 45 12. El sistema EPHR (215) de la reivindicación 7, en el que el precalentador de aire (250) comprende además:

una segunda entrada (256) para recibir una entrada de aire auxiliar.

13. Un sistema de horno eficiente de bajo coste que tiene:

a. un horno de combustible fósil (26) que produce gases de humo calentados;

b. un precalentador de aire (250) acoplado al horno (26) y adaptado para:

- 5            recibir los gases de humo calentados,
- neutralizar ácidos en los gases de humo calentados,
- extraer aire de combustión calentado para el horno (26),
- extraer aire calentado adicional para utilizarlo en otro sitio del sistema,
- reducir la temperatura del gas de humo por debajo de un punto de rocío de ácido de gas de humo,
- 10            reducir el volumen de gases de humo que salen del precalentador (250); y

c. un equipo de procesamiento de gas de humo acoplado al precalentador de aire (250) y aguas abajo del mismo, que es más compacto y menos costoso que los equipos utilizados en sistemas que no tienen precalentadores de aire (250) que neutralicen los ácidos del gas de humo.

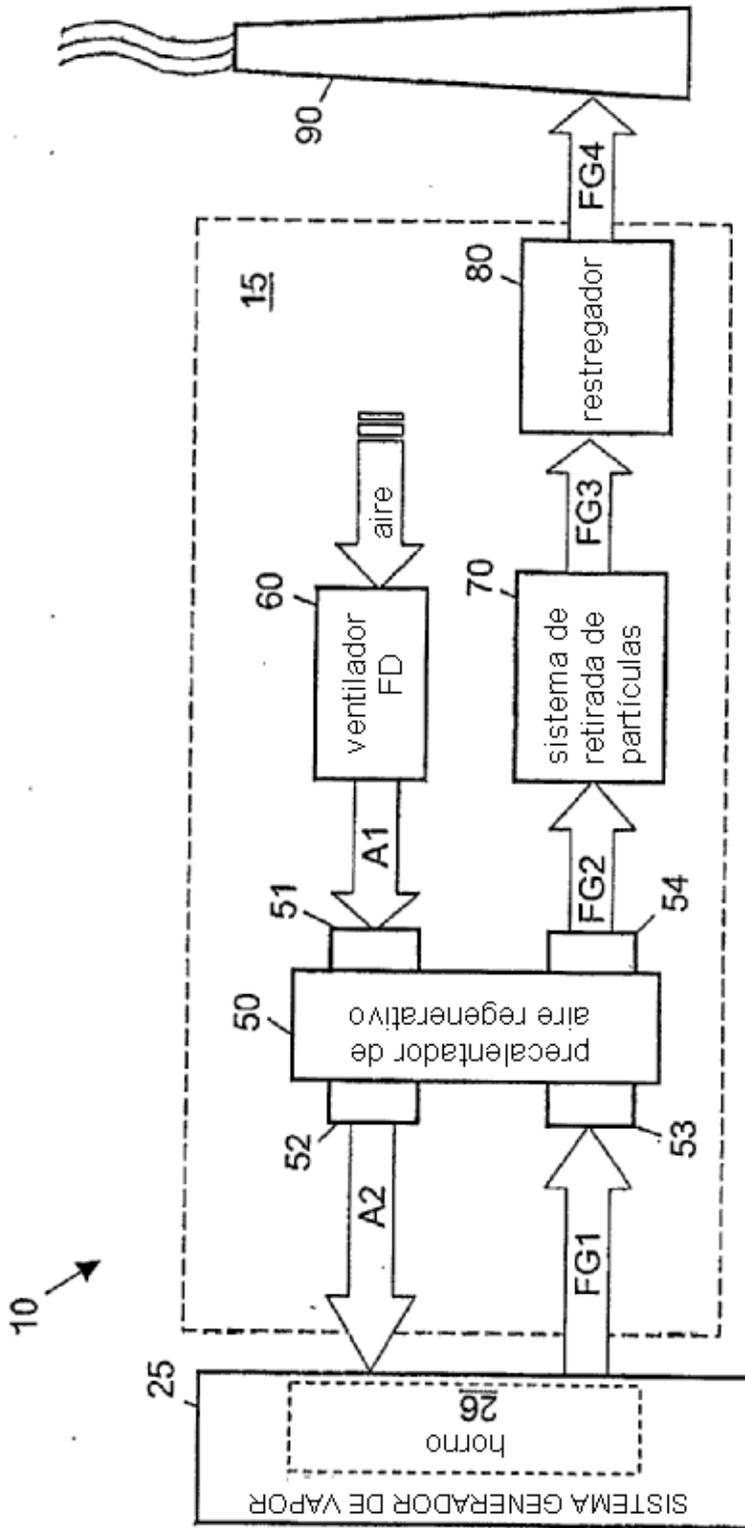


FIG. 1A

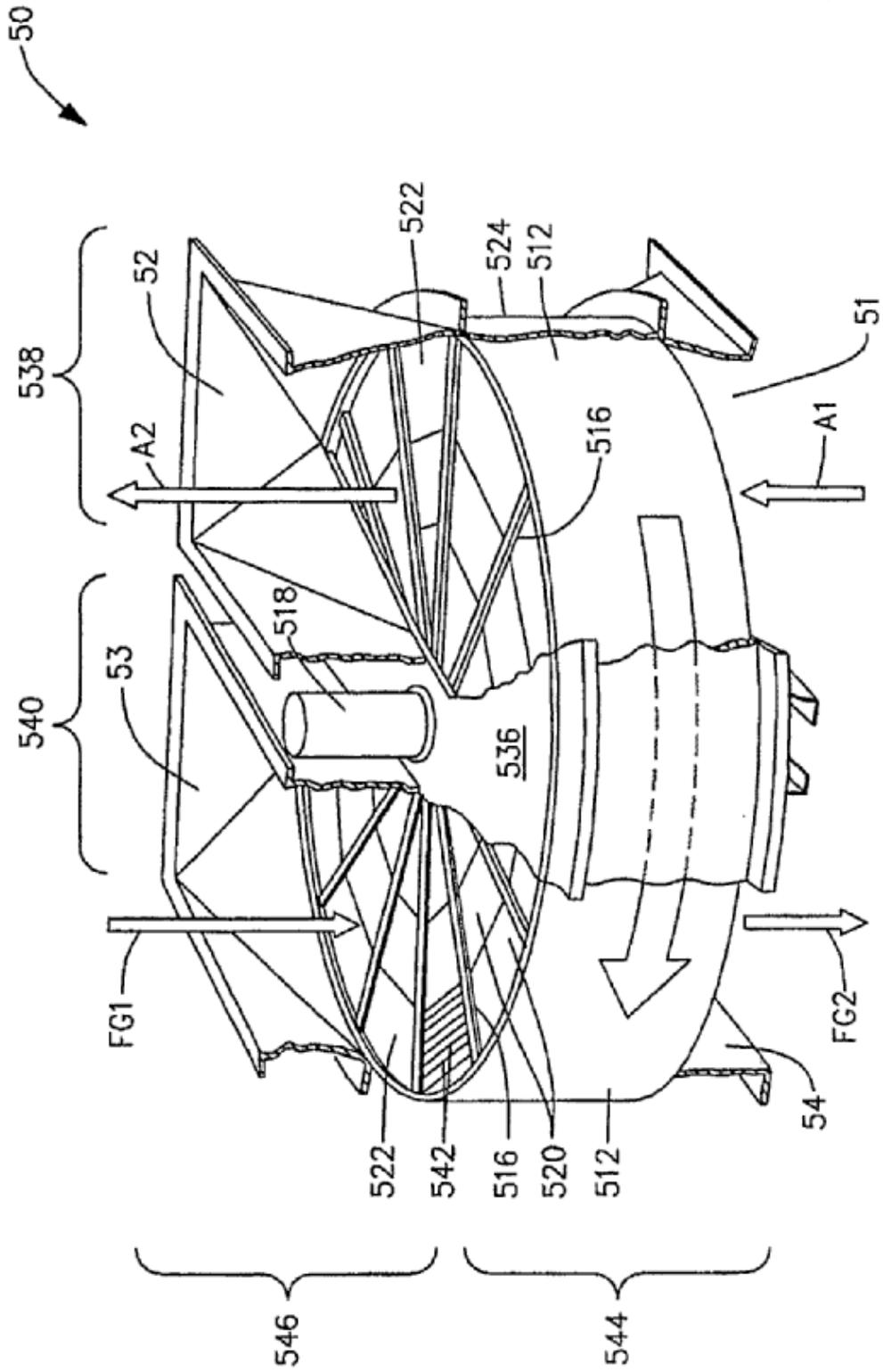


FIG. 1B

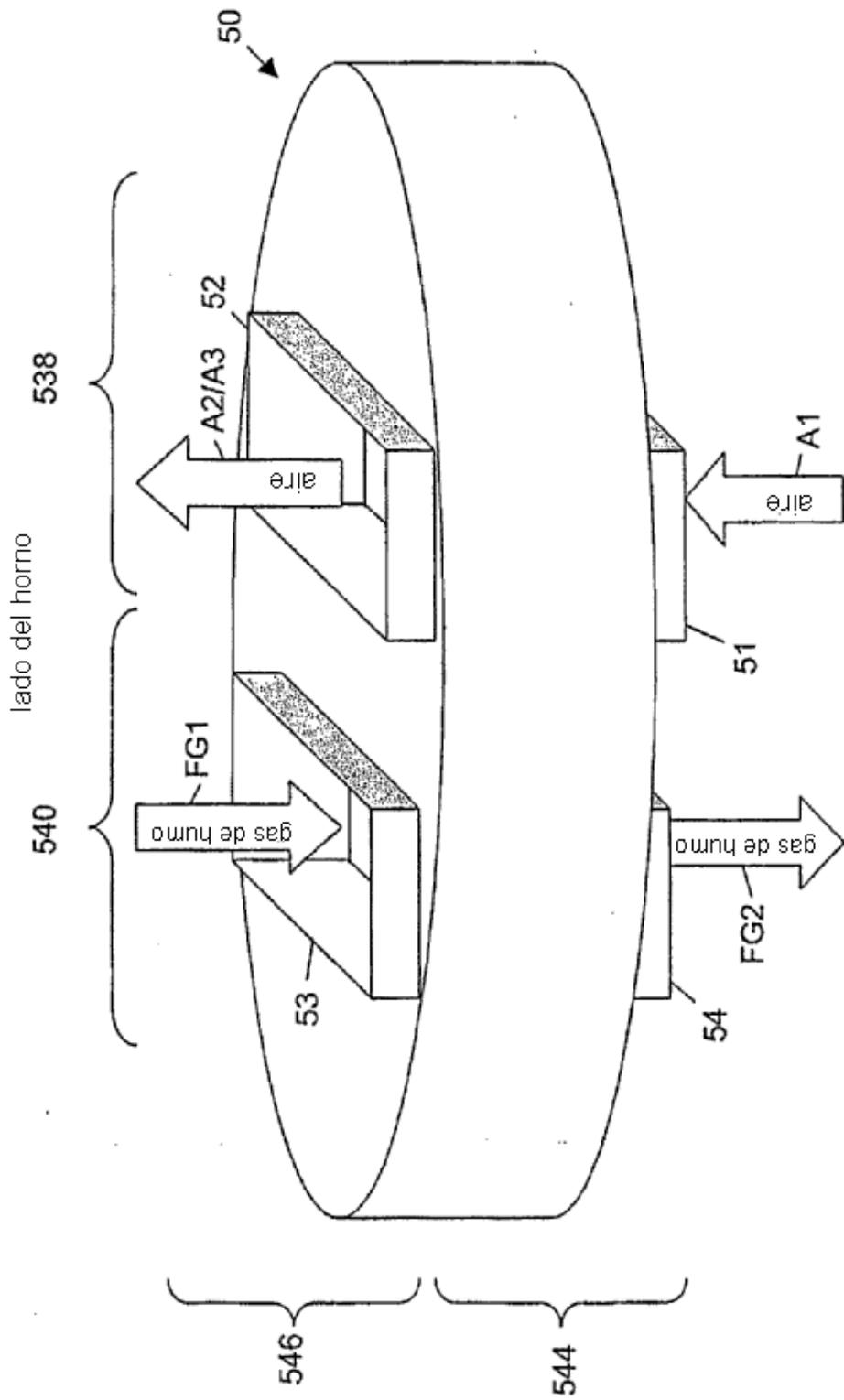


FIG. 1C

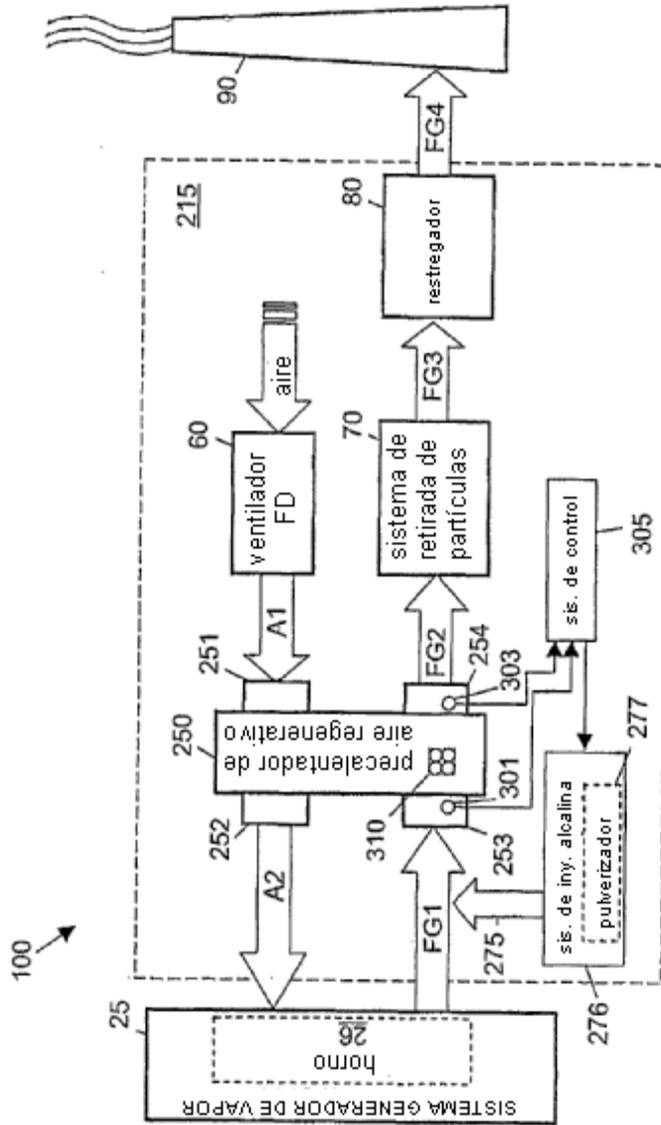


FIG. 2A

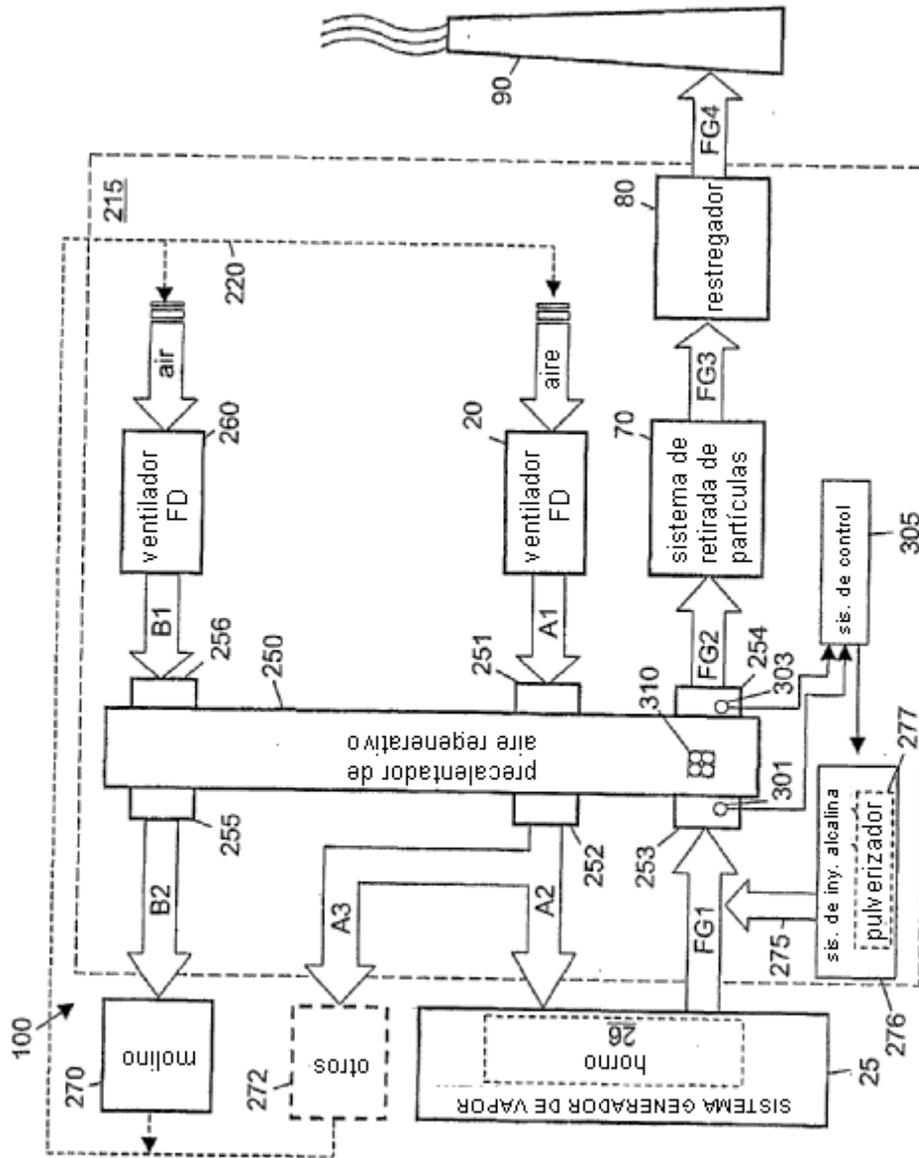


FIG. 2B

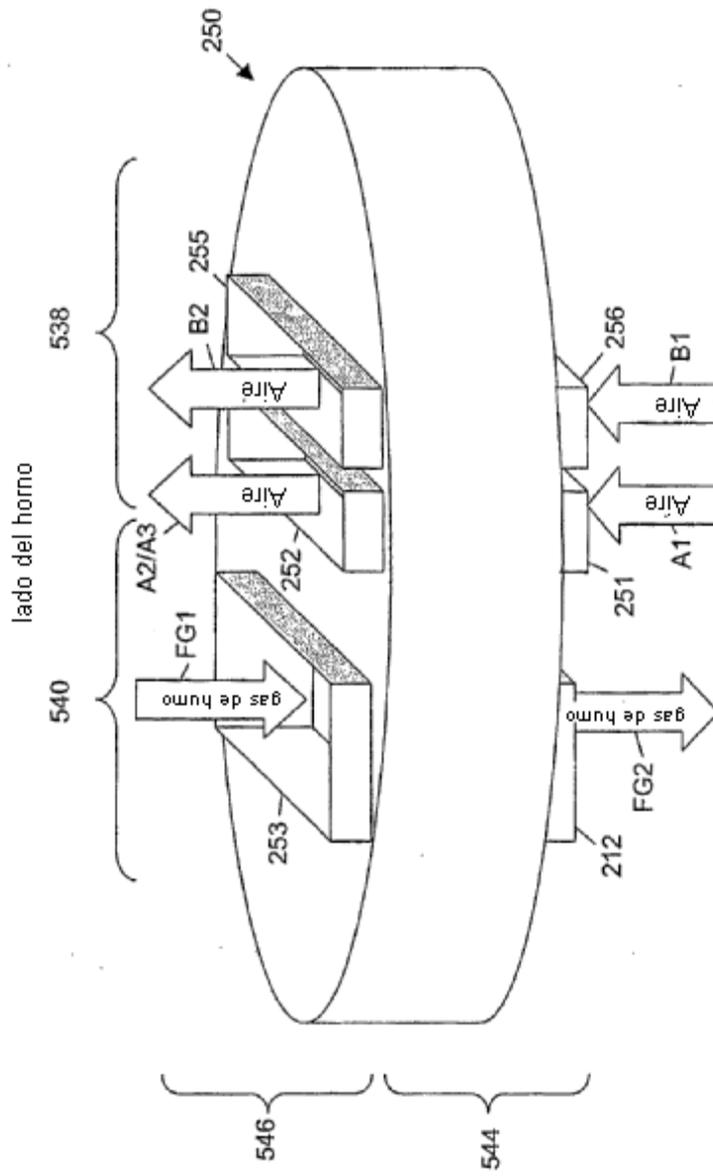


FIG. 3