

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 408 579**

51 Int. Cl.:

G01N 33/00 (2006.01)

G01N 27/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2009 E 09010525 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2013 EP 2154530**

54 Título: **Método para la detección, medida y control de trióxido de azufre y de otros condensables presentes en los gases de combustión**

30 Prioridad:

14.08.2008 US 88923 P

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

21.06.2013

73 Titular/es:

**BREEN ENERGY SOLUTIONS, A PENNSYLVANIA CORPORATION (100.0%)
104 BROADWAY STREET
CARNEGIE PA 15106, US**

72 Inventor/es:

**CHOTHANI, CHETAN;
LOCKERT, CHARLES A. y
BREEN, BERNHARD P.**

74 Agente/Representante:

AZNÁREZ URBIETA, Pablo

ES 2 408 579 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

Método para la detección, medida y control de trióxido de azufre y de otros condensables presentes en los gases de combustión

CAMPO DE LA INVENCION

- 5 La presente invención se refiere a métodos para la detección, medida y control de contaminantes, tales como SO_x, en los gases de combustión emitidos por hornos alimentados mediante combustibles fósiles.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 10 Desde hace varios años, la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (EPA) exige a los operadores de centrales eléctricas, incineradoras, fundiciones y hornos de secado de cemento alimentados con combustibles fósiles que controlen los niveles de diversas especies gaseosas y partículas que se emiten a la atmósfera. Estas especies incluyen óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y oxígeno, que en general salen del horno a través de unos conductos comunicados con la chimenea del horno. También se han promulgado leyes y reglamentos que fijan normas en materia de emisiones y establecen penalizaciones para los operadores que no se ajusten a dichas normas. Los operadores de estas instalaciones deben controlar las
- 15 emisiones, siendo muy frecuente que añadan materiales a los gases de combustión para reducir el nivel de emisiones de determinadas especies gaseosas. En general, este control se lleva a cabo mediante la inserción de una sonda capaz de realizar el control *in situ* o mediante una sonda de extracción o línea de muestreo que se introduce en los gases de combustión en determinados sitios del horno. Para analizar los constituyentes gaseosos de la muestra extraída, a veces es necesario eliminar las partículas y transportar la muestra a un lugar remoto capaz
- 20 de llevar a cabo los análisis del gas.

- En la técnica se han desarrollado diversas sondas para extraer muestras de los gases de combustión de una chimenea. En la patente US nº 5.458.010 se describen ejemplos de tales sistemas de muestreo. En un sistema de extracción tradicional, una bomba extrae el gas procedente del flujo de gas que se desplaza por el interior de la chimenea a través de la sonda caliente. A continuación, la muestra se transporta para su análisis a un
- 25 emplazamiento remoto a través de una línea de muestreo calentada con un cable calefactor. La sonda y la línea de muestreo se calientan aproximadamente a 121°C (250°F) para impedir la condensación de humedad o ácido en la muestra. A continuación, la muestra se hace pasar por un "enfriador" que reduce su temperatura aproximadamente a 1,67°C (35°F). Así se condensa el vapor de agua, que se elimina por vaciado. La muestra, una vez seca, se vuelve a calentar y se transporta a un analizador, que mide los constituyentes de interés.

- 30 Un segundo tipo general de sistemas de muestreo utilizado en la técnica anterior recurre a una sonda de dilución. En este diseño, la frecuencia de extracción de la muestra a través de la chimenea es considerablemente inferior que con el sistema tradicional. En este caso, el gas se extrae a través de un filtro fino hacia un dispositivo conocido como "orificio sónico" u "orificio de flujo crítico". El orificio sónico se denomina así porque mide un caudal volumétrico constante, siempre tras de sí exista un vacío sustancial. El vacío de la parte posterior del orificio se mantiene
- 35 mediante un tubo venturi controlado por una fuente de aire comprimido. El tubo venturi también sirve para aportar aire limpio y seco a la dilución, lo que hace descender el punto de rocío de la muestra. Todo el conjunto venturi/orificio está construido en el interior de una sonda no calentada, de forma que la dilución se lleva a cabo esencialmente a la temperatura de la chimenea. La muestra diluida se envía entonces al analizador aproximadamente a presión atmosférica.

- 40 Con frecuencia, las sondas utilizadas en los sistemas de muestreo de la técnica anterior incorporan sensores de temperatura.

- Para controlar las emisiones, los operadores de los hornos alimentados con combustibles fósiles pueden añadir amoníaco, calcio, compuestos de sodio u otros materiales a los gases de combustión, para que las especies gaseosas no deseadas reaccionen con los aditivos y formen unos gases o partículas aceptables que puedan ser
- 45 evacuados. Otra técnica, denominada Reducción Catalítica Selectiva de NO_x ("SCR") utiliza un catalizador para controlar las emisiones de NO_x. Se utilizan cámaras de saco, precipitadores e incluso filtros para eliminar las partículas de los gases de combustión.

- El éxito o no de un aditivo específico dependerá no solamente de la composición de los gases de combustión, sino también de la temperatura del gas de combustión cuando se inyecta el aditivo. Muchos materiales funcionan bien tan
- 50 sólo dentro de un rango de temperatura determinado. Si se añade el material mientras los gases de combustión no están dentro del rango de temperatura requerido o si se inyecta demasiado o demasiado poco aditivo, pueden producirse reacciones que generen compuestos no deseados. Estos compuestos pueden averiar los precipitadores, reducir la eficacia de los intercambiadores de calor y crear otros problemas.

- Actualmente suele utilizarse amoníaco (NH₃) como reactivo para eliminar óxidos de nitrógeno de los flujos gaseoso.
- 55 Pero el NH₃ también reacciona con el trióxido de azufre (SO₃) generando sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) o bisulfato amónico (NH₄HSO₄). Ambos pueden atascar los pasos catalíticos de los dispositivos SCR o de transferencia de calor y, especialmente, el calentador de aire regenerativo, que cuenta con múltiples conductos diminutos. Este

atasco puede limitar el flujo del aire y de los gases de combustión hasta tal punto que debe apagarse la caldera y limpiarse el calentador de aire. El bisulfato amónico es con mucho el más dañino de los dos, ya que es muy pegajoso en buena parte del rango de temperatura de los gases de escape.

5 La patente estadounidense nº 6.677.765 describe un método para medir el amoniaco presente en los gases de combustión mediante una sonda refrigerada que mide la conductividad (y la corrosión) provocada por la condensación de bisulfato amónico. Este método utiliza una sonda tubular con bandas separadas o cintas fabricadas en el mismo material que el cuerpo de la sonda. Las bandas o cintas están fijadas al cuerpo de la sonda con un material aislante eléctrico a alta temperatura. La sonda porta al menos un termopar. En el interior del cuerpo de la sonda se coloca una serie de tubos de refrigeración para dirigir el aire frío a las zonas situadas cerca de cada una de las bandas. Una o más sondas se encuentran situadas en el horno o caldera, sobre la zona de inyección de amoniaco. Cuando se forma bisulfato amónico en la sonda, éste completa el circuito eléctrico entre el cuerpo de la sonda y las bandas. De este modo, la presencia de bisulfato amónico puede detectarse mediante la variación de la resistencia entre las bandas y el cuerpo de la sonda. El bisulfato amónico también causará la corrosión de la sonda. Durante el proceso de corrosión se genera ruido electroquímico. Un monitor conectado al cuerpo de la sonda puede detectar cualquier variación en la resistencia, así como el ruido electroquímico. Además, puede determinarse la tasa de corrosión a partir del nivel o cantidad de ruido electroquímico detectado.

20 La información obtenida mediante la sonda puede correlacionarse con su posición a fin de identificar aquellos inyectores que pueden constituir la fuente del exceso de amoniaco detectado. A continuación pueden ajustarse los inyectores para reducir o eliminar el exceso de inyección de amoniaco. Durante la combustión de combustibles basados en hidrocarburos en presencia de aire, el oxígeno del aire se combina con el carbono y el hidrógeno del combustible formando agua y dióxido de carbono. En el caso de la combustión de metano o de gas natural, el producto de los gases de combustión es una combinación formada por una mezcla relativamente limpia de nitrógeno y un exceso de oxígeno del aire, donde se produce entre un 10 y un 12% de agua y un 12% de productos de combustión conteniendo dióxido de carbono.

25 No obstante, en el caso de la combustión de carbón, se generan numerosas impurezas, siendo las más voluminosas cloro, azufre, compuestos nitrogenados unidos al combustible y cenizas mezcladas con carbono y con los hidrocarburos que constituyen el carbón utilizado como combustible. Los productos de combustión contienen alrededor de un 6% de agua y un 12% de dióxido de carbono, pero también otros muchos contaminantes. La propia ceniza contiene numerosos compuestos, que pueden consistir en metales, como sodio, calcio, magnesio, sílice, aluminio, hierro y azufre pirético, junto con trazas de muchos elementos considerados contaminantes, como mercurio, plomo, cadmio, arsénico y otros muchos. Todas estas especies tienen la oportunidad de evaporarse y oxidarse en el entorno de combustión a alta temperatura, lo que hace que el gas de combustión resultante procedente de la combustión de carbón sea mucho más complejo que en el caso de la combustión de gas natural.

35 Con este tipo de gases de combustión complejos siempre resulta deseable mantener la temperatura de los gases de combustión lo suficientemente elevada como para que no se condense agua en el interior de los pasos posteriores de la caldera, el conducto de gases y la chimenea, ya que el agua provocaría la acumulación de soluciones de todos estos compuestos corrosivos y cenizas, formando un residuo sucio y pegajoso. Este residuo ensucia de tal forma los conductos de paso de los gases de combustión que el equipo queda inutilizado. Al mismo tiempo, la temperatura debería ser lo más baja posible, a fin de mantener la eficiencia de la recuperación de calor procedente de la combustión del carburante. Para que el funcionamiento de la central siga siendo limpio, seguro y eficiente, sería deseable medir las características de condensación y temperatura de las incrustaciones causadas por los gases de combustión.

45 La condensación de agua resulta muy afectada por la presencia de trióxido de azufre, formándose un condensado de ácido sulfúrico y otros sulfatos y sulfitos de mayor complejidad. Todos estos diferentes compuestos de azufre se condensan a unas temperaturas muy superiores a la temperatura de condensación del agua pura, e incluyen sulfato amónico, bisulfato amónico y sulfatos y bisulfatos de diferentes contaminantes metálicos, como sodio (bisulfato sódico, bisulfato sódico y sulfato de sodio), magnesio, calcio y otros.

50 Así, aunque resulte deseable operar a las temperaturas de chimenea más bajas posible, para aumentar la eficacia de una menor generación de dióxido de carbono, la utilización intensiva de productos depuradores permite al mismo tiempo utilizar carbones de mayor contenido en azufre. Por tanto, tiende a incrementarse el azufre, y con ello, el trióxido de azufre presentes en el paso posterior de la caldera. Cuando aumenta la cantidad de azufre en el carbón, también aumenta la de trióxido de azufre, lo cual resulta agravado por la utilización de la técnica de reducción analítica selectiva de NOx (SCR), que cataliza la formación de trióxido de azufre. La complejidad aumenta cuando se utiliza la inyección de amoniaco para los procesos SCR y de reducción selectiva no catalítica de NOx (SNCR), ya que cualquier resto de amoniaco reaccionará con el trióxido de azufre para formar bisulfato amónico, que aumenta la condensación de agua y la temperatura de obstrucción. Además del problema de ensuciamiento del extremo posterior, las emisiones de trióxido de azufre procedentes de la chimenea causan problemas de visibilidad de la pluma y de contaminación.

60 Dados los problemas provocados cuando se trata de que los pasos posteriores, los conductos y la chimenea se encuentren a la temperatura más baja posible sin que produzcan incrustaciones, se han ensayado y utilizado

diversos mecanismos de eliminación de trióxido de azufre. Los agentes utilizados para ello, inyectados en los puntos A, B, C y D de los hornos, tal como se muestra en las Figuras 1 y 2, aunque reducen el trióxido de azufre, presentan sus propias y complejas características de condensación y descomposición y han de añadirse a la cantidad de ceniza que puede llegar a ensuciar el equipo.

- 5 Para que los sistemas funcionen con la complejidad que se describe en este documento, sería deseable medir el trióxido de azufre y la temperatura de condensación del ácido sulfúrico dependiente de la concentración siempre que, y en aquellos casos en los cuales éste exista por sí mismo. Sin embargo, como se describe en este documento, a menudo aparece en combinación con el amoníaco o con reactivos correctivos, por lo que no puede medirse como ácido sulfúrico, ya que puede adoptar una forma diferente al condensarse. Por ejemplo, el bisulfato amónico se
10 condensa a una temperatura más elevada que el SO_3 , entre 1°C y 38°C (entre 30°F y 100°F) enmascarando así el punto de rocío del SO_3 con el material ya condensado cuando se intenta detectar dicho punto.

- 15 Cuando las temperaturas son superiores a 204°C (400°F), el trióxido de azufre coexiste en equilibrio dinámico con las moléculas de agua y de ácido sulfúrico y, para complicar aún más su medición a bajas temperaturas, puede ser adsorbido en forma de partículas y/o formar un aerosol. Por debajo de 204°C (400°F), el punto de rocío medido del ácido sulfúrico equivale a la medir el trióxido de azufre total, mientras que por encima de esta temperatura la cantidad total de trióxido de azufre puede calcularse mediante la curva de equilibrio. No obstante, dado que pueden encontrarse presentes SO_3 , H_2SO_4 y la fase condensada (aerosol y partículas), a veces es necesario convertir todas las formas en la forma condensable de ácido sulfúrico a una temperatura inferior a 204°C (400°F). Estas formas pueden identificarse por filtrado y por calentamiento, enfriamiento y desnitrificación de la muestra de los gases de
20 combustión.

- 25 El ácido sulfúrico puede seguir condensándose entre 121°C y 143°C (250°F y 290°F) pero, en presencia de bisulfato amónico o bisulfato sódico, la condensación en el interior de los gases de combustión puede iniciarse a temperaturas superiores a 160°C (320°F) e incluso a $315,5^\circ\text{C}$ (600°F). Así, un instrumento estándar de medida del punto de rocío del ácido sulfúrico resultará confundido por diversos fenómenos de condensación en el gas de combustión complejo cuando se intente medir un punto de rocío específico del ácido sulfúrico. Por ejemplo, cuando se encuentra presente, el bisulfato sódico se condensará a temperaturas superiores a 177°C (350°F); en ese caso, será necesario utilizar una sonda limpia y fría para medir las tasas de condensación y evaporación contrapuestas, ya que la sonda limpia se calienta desde el inicio del ciclo de calentamiento de la sonda.

- 30 El documento de Lockert, C.A. y col., "Expanded Experience with an in-situ Ammonium Bisulfato Fouling Probe", POWER PLANT AIR POLLUTANT CONTROL MEGASYMPOSIUM: August 28-31, 2006, Baltimore, MD; [CP/AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION] [PITTSBURGH; PA] A&WMA, US; vol 2, 28 de agosto de 2006 (2006-08-28), páginas 926-936, ISBN 978-0-923204-81.5, describe un método según la parte preámbulo de la reivindicación 1. El método mide la actividad del bisulfato hidratado de los gases de combustión y utiliza una sonda refrigerada para medir la conductividad derivada de los compuestos de bisulfato amónico/ácido sulfúrico presentes en el
35 condensado. No obstante, este método no sirve para facilitar mediciones relativas a otros gases que contienen especies condensables.

En consecuencia, es necesario disponer de un método y de una sonda que permita determinar con precisión la cantidad de trióxido de azufre y de otros productos condensables presentes en el gas de combustión, así como en cualquier otro gas que contenga especies condensables.

40 SUMARIO DE LA INVENCION

- 45 En la invención aquí descrita se describe que, utilizando una sonda dinámica de cambio de temperatura y controlando los cambios de temperatura y los cambios experimentados por el material condensado en la sonda, pueden distinguirse e identificarse las características de condensación y evaporación de cualquiera de los componentes presentes. Utilizando esta información y la correlación entre la temperatura y la concentración en el punto de rocío correspondiente a la especie condensable identificada se podrá determinar la concentración de dicha especie condensable presente en el gas. A continuación, esta medida puede utilizarse para definir las diversas temperaturas de funcionamiento, los límites de inyección y los procesos correctivos, así como el control de sus procesos. Este proceso dinámico y el dispositivo formado por la sonda, junto con la instrumentación de medida y control ya conocida, se pueden aplicar a la identificación de los constituyentes condensables en cualquier gas.

- 50 Cuando se inserta en un escape de gas de combustión caliente, la sonda mide la temperatura a la que se forman depósitos de las diferentes concentraciones de gases condensables en una superficie que en otras circunstancias no sería conductiva. Empleando tasas controladas de cambio de la temperatura de la sonda, el flujo actualmente medido asociado a la acumulación de condensado, la temperatura a la cual se produce la condensación y las correlaciones entre la temperatura de condensación y la cantidad de especies condensables presentes, se puede
55 identificar y determinar la concentración de estos condensables. Un aspecto singular de la invención es que se mide la formación y evaporación cinética o dinámica de los condensados mediante la observación del flujo de corriente asociado a los cambios de temperatura, en lugar de buscar un punto de rocío de equilibrio que puede no existir en la compleja naturaleza de los gases de combustión, donde pueden coexistir muy diversos condensables diferentes.

Mediante este método cinético y los algoritmos desarrollados, se puede discernir tanto la identidad como la concentración de los condensables coexistentes.

Se proporcionan tres características que permiten establecer una correlación entre el SO_3 u otras concentraciones de condensables y las medidas. En primer lugar, se proporciona una sonda que puede insertarse en un gas de combustión caliente y que puede enfriarse o calentarse a un ritmo controlable continuamente durante una serie de ciclos de enfriamiento y calentamiento ajustables. En segundo lugar, se controlan las distintas concentraciones de condensados que causan la formación de depósitos conductores en una superficie que en otras circunstancias no sería conductiva. El inicio o la formación de un depósito, la tasa de depósito o de evaporación y el calentamiento de secado dependen de la tasa de enfriamiento o calentamiento de la superficie del condensado, así como de la cinética de difusión y condensación de las distintas concentraciones del condensado. A continuación se utiliza la temperatura a la que se producen los picos para trazar la actividad actual debida a la tasa de condensación, a fin de identificar y determinar la concentración de especies condensables en el gas.

La formación de depósitos de condensables se mide cuando se pasa por un ciclo de enfriamiento y, a continuación, se mide esta acumulación continua a lo largo de un ciclo de calentamiento secuencial, en lugar de tratar de poner a cero o en un punto de rocío de equilibrio a temperatura constante para un solo componente de condensación. Cuando existen componentes que se condensan a temperaturas superiores a aquella a la que se condensaría el trióxido de azufre, como el bisulfato de amonio, la sonda los mide en su ciclo de enfriamiento en el momento de formar el condensado a esta temperatura superior. El ciclo de enfriamiento puede dar comienzo a un ciclo de calentamiento secuencial o continuar hasta una temperatura predeterminada conocida e inferior al punto de rocío más bajo del SO_3 , en cuyo caso la representación gráfica actual en el siguiente ciclo de calentamiento mostrará el punto de rocío cinético, tanto para la concentración de SO_3 como para la concentración de bisulfato amónico. No obstante, en caso de que la sonda se inserte después de que el calentador de aire haya enfriado el gas de combustión por debajo de la temperatura del condensado de bisulfato amónico, por ejemplo por debajo de 154°C (310°F), la menor temperatura del condensado se deberá a la concentración de SO_3 , ya que el bisulfato amónico se ha eliminado en el calentador de aire. Los gases, como el agua, se condensan a unos puntos de rocío incluso más bajos y también presentan una curva de temperatura de condensado con múltiples picos.

Dentro de una ventana de temperaturas controlada y con las tasas controladas de enfriamiento que aquí se describen, se utiliza la tasa de enfriamiento medida y controlada, la temperatura de formación del condensado medida y la conductividad medida en la superficie del condensado para establecer una correlación entre la presencia y la concentración de SO_3 y cada uno de sus componentes, como H_2SO_4 , partículas y aerosoles de ácido sulfúrico y/u otros condensables presentes en los gases de combustión. Al mismo tiempo, cuando la sonda se utiliza en una ventana de temperatura más elevada, se mide la condensación y concentración de otros condensables, como bisulfato amónico, y, a temperaturas incluso superiores, bisulfatos sódicos, en caso de que se encuentren presentes.

35 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

- Figura 1: vista esquemática de una caldera alimentada con carbón, mostrando los componentes de contaminación y recuperación de calor con un precipitador electrostático en su lado frío y puntos de inyección de reactivos.
- Figura 2: vista esquemática de una caldera alimentada con carbón, mostrando los componentes de contaminación y recuperación de calor con un precipitador electrostático en su lado caliente y puntos de inyección de reactivos.
- Figura 3: vista lateral de la realización actualmente preferente de la presente sonda, que mide el flujo de corriente a través de cualquier material que se haya condensado en la superficie de lectura de la sonda.
- Figura 4: vista desde el extremo de la realización de la Figura 3.
- Figura 5: vista lateral de una segunda realización preferente de la presente sonda.
- Figura 6: gráfico que muestra un típico ciclo de calentamiento y enfriamiento de una sonda insertada en un gas de combustión caliente y utilizada de acuerdo con el presente método.
- Figura 7: gráfico similar al de la Figura 6 donde el flujo de corriente se muestra como una línea de puntos y se identifica un punto de rocío cinético para el gas de combustión.
- Figura 8: gráfico similar al de las Figuras 6 y 7 donde el flujo de corriente se muestra como una línea de puntos y se identifican sendos puntos de rocío cinéticos para el trióxido de azufre y el bisulfato amónico.
- Figura 9: curva de equilibrio correspondiente al trióxido de azufre y al ácido sulfúrico.

- Figura 10: gráfico que muestra la correlación entre la concentración del trióxido de azufre y los puntos de rocío de las diferentes concentraciones de vapor de agua en el gas de combustión.
- Figura 11: gráfico que muestra las temperaturas y concentraciones a las que el sodio forma un bisulfato líquido.
- 5 Figura 12: diagrama de bloques del presente sistema de punto de rocío cinético instalando en una planta de generación eléctrica alimentada por carbón.
- Figura 13: diagrama de un sistema que puede utilizarse para extraer una muestra para un conducto y acondicionar la mezcla para separar las especies que la componen.
- 10 Figura 14: diagrama de una sonda utilizada para acondicionar *in situ* el gas de combustión del sistema de la Figura 13.

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERENTES

En un típico horno o caldera alimentados por carbón 2, como se muestra en las Figuras 1 y 2, el carbón y el aire se inyectan en el horno. El carbón en combustión calienta el agua de unos tubos (no mostrados) situados en las paredes del horno, generando vapor que alimenta una turbina. En algunos hornos, el gas de combustión 3 que abandona el horno atraviesa un dispositivo de Reducción Selectiva no Catalítica (SNCR) 4. Se inyecta amoníaco (NH_3) en el gas de combustión en el dispositivo SNCR 4 para reducir la cantidad de NO_x presente en este gas. A continuación, el gas de combustión atraviesa un economizador 5, saliendo del mismo cuando alcanza una temperatura determinada T_0 . En una caldera alimentada por carbón con un precipitador electrostático frío, como se muestra en la Figura 1, el gas de combustión pasa entonces a través de un dispositivo de Reducción Catalítica Selectiva de NO_x (SCR) 7, por el calentador de aire 8 y por un precipitador electrostático (ESP) 6 hasta llegar al depurador 9. A continuación, el gas de combustión sale del sistema a través de la chimenea 10. En una caldera alimentada por carbón con un precipitador electrostático caliente como la mostrada en la Figura 2, el gas de combustión se desplaza desde el economizador 5 a través del precipitador electrostático 6. El gas de combustión sigue hasta un dispositivo de Reducción Catalítica Selectiva de NO_x (SCR) 7, un calentador de aire 8, un depurador 9 y una chimenea 10.

En las Figuras 1 y 2 se muestran dos ejemplos de hornos donde puede utilizarse el presente método y la sonda, aunque sin limitarse a los mismos. De hecho, la configuración de los hornos donde se puede utilizar el presente método puede ser muy diversa, con dispositivos de reducción de NO_x como SNCR o SCR, o ambos, o ninguno, con depuradores o no, y equipados con dispositivos de recogida de partículas, como ESPc o ESPh o un ESP húmedo (wESP) y/o filtro de saco.

Se proporciona una sonda tal como la mostrada en las Figuras 3, 4 y 5, que puede insertarse en el gas de combustión caliente y enfriarse o calentarse a un ritmo controlable durante unos ciclos de enfriamiento y calentamiento continuamente ajustables. La sonda puede insertarse en el conducto de gases de combustión en los puntos A, B, C y D (cuyas temperaturas son T_1 , T_2 , T_3 y T_4 , respectivamente) y luego en el depurador 9, como se muestra en las Figuras 1 y 2. El operador del horno puede inyectar materiales en cada uno de los puntos A, B, C y D para reducir el NO_x o el SO_x . Entre los materiales de inyección más comunes se encuentran amoníaco/urea (para obtener NH_3), cal/piedra caliza (para obtener Ca), Trona (para obtener Na) y óxido de magnesio (para obtener Mg). Los diferentes puntos se incluyen por el interés en resolver los diferentes problemas. La solución a dichos problemas depende del conocimiento o medición y del control del efecto del reactivo que se añade y del SO_3 y los materiales condensables asociados.

En referencia a las Figuras 3 y 4, una primera realización preferente de la presente sonda 20 comprende un cuerpo hueco 22 esencialmente cilíndrico, cuya longitud puede variar normalmente entre 90 cm y 180 cm (3 y 6 pies). Un tapón o punta 24 se monta en el extremo distal del cuerpo 22, que quedará expuesto a la corriente de gas. Se sitúa un tubo de refrigeración 26 en el interior y a lo largo del cuerpo 22 para insuflar aire frío en la punta 24. El flujo de aire frío dirigido a la punta está controlado con precisión para inducir la condensación en la punta de la sonda. Una válvula de retorno del aire 28 permite que escape el aire refrigerado después de haber pasado por la punta. En la superficie de la punta 24 se disponen unos contactos separados 31 y 32. Pero también podría haber un número mayor de contactos separados, pudiendo éstos estar configurados y situados de diferentes formas en la superficie exterior de la punta. Esta superficie es no conductora. También es preferente situar un sensor de temperatura 33 en la punta. Desde el sensor de temperatura y los contactos se disponen unos cables 33 en dirección al extremo contrario de la sonda, donde pueden conectarse al equipo de control. Cuando se condensa el material en la punta, el condensado cierra el circuito entre los contactos. La sonda está construida con un material resistente a la corrosión, como una aleación de níquel-cromo. Una pestaña de montaje 21 se encuentra fijada al otro extremo del cuerpo 22 y está adaptada para acoplarse al material de montaje situado en el conducto (no mostrado).

55 En la Figura 5 se muestra una segunda realización preferente de la sonda 40. Esta sonda también está dotada de un cuerpo hueco esencialmente cilíndrico 42 y el tapón del extremo o punta 44 se encuentra montado en el extremo distal del cuerpo 42. Un tubo de refrigeración 46 se encuentra situado en el interior y a lo largo del cuerpo 42 para insuflar aire frío en la punta 44. Se dispone una válvula de retorno de aire 48 para permitir que el aire escape

después de haber pasado sobre la punta. La punta también cuenta con unos contactos separados y un sensor de temperatura (no mostrado). En el otro extremo del cuerpo 42 se encuentra fijada una pestaña de montaje 41. En esta realización se instala una bobina calefactora 45 enrollada alrededor del cuerpo cilíndrico 42 y terminando en un punto situado cerca de la superficie desnuda de la punta. Este extremo 47 está abierto, de forma que el aire caliente que atraviesa la bobina calefactora se dirigirá contra la superficie exterior 49 de la punta 44. El aire caliente calentará cualquier condensado que se encuentre en la superficie exterior de la punta, haciendo que el condensado se convierta en líquido o gas y fluya hacia el exterior de la punta, limpiando así dicha punta. El calentamiento artificial de la punta también permite el funcionamiento de la sonda con los gases de combustión cuando la temperatura del gas de combustión es inferior al punto de rocío del material condensable, de forma que una sonda que no se hubiese calentado quedaría inmediatamente revestida con el condensado. Esto incluiría el funcionamiento de la sonda en una chimenea húmeda.

Después de inserta la sonda en un punto seleccionado de un conducto, como los puntos A, B, C y D de la Figura 1 o de la Figura 2, la sonda se calienta o se enfría. Se proporciona un ciclo controlado de refrigeración y de calefacción, como se muestra en la Figura 6. Cada uno de los ciclos de enfriamiento/calentamiento puede tener lugar durante un tiempo que oscila entre 2 y 30 minutos, normalmente dependiendo del rango de temperaturas a supervisar, que puede variar entre -12°C y 260°C (10°F y 500°F). El control del ciclo de calentamiento y enfriamiento se lleva a cabo gracias a la retroalimentación obtenida de la corriente medida a través de las acumulaciones de la superficie, como se muestra en la Figura 7.

Se han controlado diversas concentraciones de condensados que causan la formación de depósitos conductores en la superficie de la punta de la sonda que en otro caso no sería conductora (como se muestra en la Figura 4). Cuando se enfría la sonda, se mide el inicio de la formación de un depósito como Temperatura de Formación (TFm) de dicho condensable, que viene indicada por un aumento de la corriente superficial por encima de un umbral de intensidad especificado. Antes de medir dicho umbral de intensidad, el flujo de corriente, como se muestra en la Figura 7, era esencialmente de cero a través de la superficie caliente, limpia y seca que está enfriándose.

Una vez formado un depósito, se reduce o elimina el caudal de aire de refrigeración y la tasa de formación de depósitos o evaporación y el calentamiento de secado dependerán de la tasa de enfriamiento o calentamiento de la superficie del condensado, así como de la cinética de difusión y condensación de las diferentes concentraciones del condensado.

El depósito continuará formándose con el flujo de corriente incrementándose hasta alcanzar un punto de inflexión en el que los depósitos igualen la tasa de evaporación, lo que define el único punto de rocío cinético (Kdp), como se muestra en la Figura 7. Este punto de rocío cinético es único para la especie que se condensa, calculándose su concentración a partir de una ecuación de temperatura, presión y humedad que refleja las curvas mostradas en la Figura 10. Por ejemplo, si el contenido de humedad es del 10% y el punto de inflexión corresponde a una temperatura de 149°C (300°F), el punto se encontraría en el 10% de la curva de humedad, esto es en 149°C (300°F). A continuación, se calcula el correspondiente valor de concentración a dicha temperatura en el eje X. En este ejemplo, el valor sería de 43 ppm de SO₃. La concentración de humedad para los gases de combustión suele ser del 12%. La curva correspondiente a una humedad del 12% se encontraría entre la curva de humedad correspondiente al 10% y la curva de humedad correspondiente al 14%. Aunque la identificación de la concentración de SO₃ puede realizarse de forma manual partiendo de las curvas de la Figura 10, el experto en la materia observará que se puede utilizar un programa informático para efectuar la correlación. De hecho, todos los contactos y sensores de temperatura de la sonda podrían estar conectados a un ordenador, que sería el que llevarse a cabo la supervisión y determinase la concentración de SO₃ presente. Así, el punto de inflexión, y por tanto el punto de rocío cinético, no dependen de la tasa de refrigeración o calentamiento, aun cuando la forma de la curva de corriente sí lo sea. El pico de corriente depende tanto de la concentración como de la cinética de la tasa de calentamiento/refrigeración.

De este modo, se puede establecer una correlación entre la identidad y la concentración del condensado a partir del cambio en la tasa de conductividad (intensidad) correspondiente a la tasa de cambio de temperatura de la superficie de condensación. Esta misma lógica permite utilizar la temperatura de formación, el punto de inflexión y el punto de evaporación para controlar los ciclos de calentamiento, así como para publicar dicha información de forma continua, en términos de especies condensables y sus concentraciones.

Cuando se condensa más de una especie, la curva de intensidad se limitará a presentar dos puntos de rocío cinéticos, como se muestra en la Figura 8. Los algoritmos que relacionan el punto de rocío medido con la concentración de SO₃ se muestran en las Figuras 10 y 11. La Figura 10 es la concentración real de SO₃ en función de la temperatura, mientras que la Figura 9 muestra que el punto de rocío es realmente el del H₂SO₄ cuando se mide a temperaturas inferiores a 204°C (400°F).

La temperatura de formación puede determinarse adoptando un enfoque descendente, utilizando el aire de refrigeración para buscar el punto de rocío del SO₃ u otro, salvo en aquellos casos donde se sabe que se da una temperatura de acumulación muy superior, como en presencia de sodio inyectado, como se muestra en la Figura 11. En el caso de la operación con sodio, cuando se miden acumulaciones a unas temperaturas de 182°C a 277°C (360°F a 530°F), como se muestra en la Figura 11, se lleva a cabo una búsqueda en sentido ascendente de los puntos de rocío cinéticos, enfriando rápidamente la superficie de la sonda para que no quede cubierta con la

- 5 acumulación causada por las altas temperaturas, que es sólida por debajo de 177°C (350°F). En el caso del bisulfato sódico, como se muestra en la Figura 11, el SO₃ es medido por el algoritmo de control del enfriamiento de la sonda para que baje rápidamente por debajo del punto de rocío del SO₃ de 116°C a 127°C (240 a 260°F) y a continuación se mide la presencia de todos los depósitos siguiendo un enfoque ascendente, incluyendo la presencia del bisulfato sódico.
- Las moléculas específicas tienen puntos de fusión y ebullición donde pasan de fase sólida a líquida y vapor. Los puntos de fusión y ebullición pueden utilizarse para identificar cualquier sustancia, pero en general deben ser puras. Por ejemplo, la concentración de agua en aire puede determinarse a partir de su punto de rocío o de su temperatura medida con un termómetro de bulbo húmedo.
- 10 El punto de rocío se mide como la temperatura de una superficie especular cuando aparecen las primeras gotitas de humedad al enfriarse la superficie.
- La temperatura de bulbo húmedo (wb) es la temperatura medida mediante un termómetro insertado en el interior de un material absorbente húmedo (o una funda pequeña, de tipo “camisa húmeda” cuando se hace pasar aire a través del material absorbente y dicho material absorbente se enfría mediante evaporación hasta alcanzar la temperatura de saturación del aire. De este modo el termómetro se enfría por la evaporación del aire en el material absorbente hasta el punto en el que deja de producirse evaporación debido a que no hay ninguna fuerza que actúe sobre la temperatura/presión de vapor y que haga que la humedad se evapore al aire saturado.
- 15 La presente sonda de punto de rocío cinético mide la temperatura de una superficie especular (mostrada en la Figura 4) cuando se calienta o enfría. Mediante esta sonda se puede determinar la temperatura a la cual la tasa de evaporación del material condensado iguala la tasa de condensación. Esta transición se produce mientras la superficie del condensado continúa calentándose, la tasa de evaporación supera la tasa de condensación y comienza a disminuir el flujo de corriente medido. La temperatura en este punto de inflexión o máximo de intensidad es el punto de rocío cinético (Kdp) y es exclusivamente independiente de las tasas de calentamiento/enfriamiento y de otros procesos físicos de difusión de calor y masa que constituyen las características moleculares (presión de vapor o presión parcial real) de la especie. Esto no es lo mismo que mantener un punto de rocío de equilibrio a temperatura constante, lo cual no es posible en un gas de combustión complejo y de múltiples componentes, con materiales condensables que provocan interferencias.
- 20 Este punto de transición se calcula midiendo la conductividad del material condensado cuando se caliente la sonda, como se muestra en la Figura 6. El ciclo de calentamiento se inicia enfriando primero la sonda a la temperatura a la que comienza la formación o acumulación de condensados, como se muestra en la Figura 7 (en este momento, la sonda se está calentando y la temperatura de formación medida es inferior al punto de rocío de dicha especie, debido a la cinética de difusión de calor y masa) el material condensable pasa de acumularse, debido al aumento del flujo de corriente, a desvanecerse tras alcanzar la temperatura de punto de rocío cinético (Kdp), con lo que disminuye el flujo de corriente. Este enfoque cinético, utilizando la conductividad superficial (medida como flujo de corriente), presenta la ventaja de que puede medir los cambios producidos en el flujo de corriente y, concretamente, el punto de inflexión del flujo de corriente cuando aumenta la temperatura. Este punto de inflexión es el punto de rocío real, es decir, la temperatura a la que la tasa de condensación (o depósito) de los gases saturados es equivalente a la tasa de evaporación de la superficie líquida.
- 30 En una cromatografía se utiliza la tasa de difusión del líquido para discriminar las distintas especies, aquí se describe un proceso y un dispositivo que permite medir los puntos de rocío como medio de separar la difusión de cualquier componente en un gas multicomponente. Por ejemplo, todos los componentes del aire y sus especies contaminantes pueden medirse enfriándolo a temperaturas criogénicas: a temperaturas muy elevadas puede medirse y controlarse mediante el presente dispositivo la condensación selectiva de metales.
- 35 El diagrama de bloques de la Figura 12 muestra nuestra sonda 40 tal y como se conectaría al resto de los componentes cuando se utiliza el presente método. Una unidad electrónica de control supervisa 51 el calentamiento y enfriamiento de la sonda y el flujo de corriente. Una unidad de suministro de aire 52, que se encuentra conectada al suministro de aire de la planta 57 a través de una unidad de filtrado del aire 56, proporciona aire caliente y frío. La unidad electrónica de control también está conectada al ordenador del sistema de control distribuido (DCS) 59 de la planta, que controla la inyección de aditivos en el gas de combustión. Esta unidad consiste esencialmente en un ordenador de sobremesa de última generación, dedicado a la interpretación de todas las medidas de temperatura e intensidad del condensado que son necesarias para controlar los ciclos de calentamiento y refrigeración e identificar la presencia de condensables y sus concentraciones. La unidad electrónica de control recibe la alimentación del sistema eléctrico de la planta 54.
- 40 En referencia a la Figura 13, se proporciona un sistema que puede utilizarse para extraer una muestra o rebufo de gas de combustión procedente de un conducto 60 y acondicionar dicha muestra para separar las especies componentes. La muestra se extrae del conducto y se hace pasar a través de una sección de refrigeración 61 y una sección de calentamiento 62 para calentar o enfriar el gas, según se desee. Preferentemente se incluye un filtro inercial 63 a través del cual puede pasar el gas antes de ser enfriado o calentado. El gas acondicionado por calentamiento o refrigeración se dirige entonces a través del colector de la válvula 64 y llega a una sonda de punto
- 45
- 50
- 55

de rocío 65 o 66, como la mostrada en la Figura 14. El sistema dispone de unos eyectores 67 para crear una succión que extraiga la muestra de gas a través del sistema y efectúe el retorno del gas a través del conducto. Mediante este sistema, el gas de combustión puede calentarse o enfriarse selectivamente, según se desee.

5 El sistema mostrado en la Figura 13 puede utilizarse para obtener un rebufo de la muestra con el fin de medir las partículas de H_2SO_4 gas (v) y de H_2SO_4 total, y otro rebufo, que se habrá filtrado para eliminar las partículas de H_2SO_4 (v) y el H_2SO_4 (aerosolizado). Ambos flujos de gas pasarán por la sección de refrigeración 61 y la sección de calentamiento 62. Una o ambas secciones podrán desconectarse. El colector de la válvula 64 permitirá que la muestra sea canalizada hacia cualquiera de los monitores de punto de rocío 65, 66 o cambiada después de cada ciclo. También pueden multiplexarse ambas muestras hacia un único monitor de punto de rocío.

10 El sistema de la Figura 13 se diseña en base a una serie de limitaciones de caudal, velocidad y presión para imitar la velocidad del conducto (- 45 ft/min o - 13,7 m/min) con un muestreo isocinético. La sonda de punto de rocío requiere una conexión formada por un tubo de 5 cm (2"). El sistema es capaz de muestrear en una unidad de tiro equilibrado o de presión positiva. El sistema se puede utilizar para extraer muestras con antes del paso por el calentador de aire (600 a 850°F o 316°C a 414°C), entre el calentador del aire y el ESP (400 a 300°F o 204°C a 149°C), tras el ESP (350 a 200°F o 177°C a 93°C), en la chimenea (100 a 300°F o 38°C a 149°C). La sección de refrigeración 61 puede refrigerar los gases de combustión de 454°C a 177°C (850 a 350°F) con control de temperatura. La sección de calentamiento es capaz de calentar gases de combustión de 38°C a 316°C (100°F a 600°F) con control de temperatura.

20 En la sonda de acondicionamiento 70 que se muestra en la Figura 14, se inyecta aire comprimido para crear una caída de presión que extraiga los gases de combustión hacia la cavidad 71. La caída de presión, y por tanto la restricción del flujo creada por dicho dispositivo, puede ser compensada utilizando un amplificador de aire 73 que utilice aire comprimido como fuerza de impulsión. Puede utilizarse un tupo pitot doble (no mostrado) para ajustar la presión del aire comprimido a la del amplificador de aire para garantizar el flujo isocinético. Pueden utilizarse paletas 74 para orientar el flujo a fin de crear el patrón de flujo deseado en la punta de la sonda 65, 66. Todo el dispositivo puede acoplarse a un puerto rebordeado de 10 cm (4").

30 El presente método resulta útil no sólo para determinar la concentración de condensables en los gases de combustión, sino también para controlar el funcionamiento del horno con el fin de controlar la tasa de formación de SO_3 y de otros materiales condensables. Dicho control se conseguiría mediante la utilización del ordenador DCS de la planta, que controla la inyección de aditivos en el gas de combustión y probablemente, otros aspectos del funcionamiento del horno. El ordenador efectúa ajustes en los inyectores o en los quemadores en función de la presencia y concentración de SO_3 detectado por el presente método. Dicho método puede aportar información del feedback para el control de las temperaturas de funcionamiento de equipos específicos de la planta por encima de una temperatura mínima a fin de evitar la condensación y acumulación de depósitos incrustados. Esto incluye controlar la temperatura de funcionamiento del SCR por encima de la temperatura cinética de condensación de AbS , para impedir que se produzcan incrustaciones provocadas por catálisis, y el control de la temperatura de salida del calentador de aire, para impedir la condensación de materiales incrustantes en el AH y el ESP.

40 Se puede utilizar la información devuelta por la sonda como una información de entrada de un modelo termodinámico de un calentador de aire rotatorio que calcula las temperaturas de las superficies metálicas con el fin de determinar la profundidad a la que se formará el condensado (Profundidad de Formación), ya que la temperatura del metal podría ser inferior a la temperatura cinética de formación, pudiendo ser la profundidad superior a aquella profundidad a la que se evaporará por sí solo el condensado, ya que la temperatura del metal puede ser superior a la temperatura cinética de evaporación. A continuación se pueden examinar dichas profundidades para determinar si se encuentran dentro de la región que puede limpiarse mediante los sopladores del calentador de aire y si están más allá de dicha región, a fin de controlar la temperatura de salida del calentador de aire para aumentar la temperatura de la superficie metálica, de forma que dichas profundidades de condensación se encuentren dentro de los márgenes que pueden limpiar los sopladores de hollín. Asimismo, los datos de la sonda, en combinación con un modelo del funcionamiento del calentador de aire, pueden utilizarse para controlar la velocidad de rotación del calentador de aire en tiempo real, de forma que la temperatura máxima del metal sea superior a la necesaria para la auto-vaporización del material condensable. Se puede calcular la temperatura máxima del calentador de aire a diversas profundidades en su interior utilizando diversos métodos, como bobinas de calentamiento o reguladores de paso de aire, y controlando la velocidad de rotación, de forma que el material condensado se evapore automáticamente. La sonda proporciona los datos de entrada de un modelo termodinámico y la salida del modelo proporciona los datos necesarios para su control.

55 El método puede utilizarse para optimizar las temperaturas de salida del calentador de aire, a fin de maximizar la recuperación de calor (minimizar el consumo térmico) aumentando al máximo la eficiencia del sistema de combustión y reduciendo con ello la cantidad de CO_2 generada por cada unidad de electricidad generada.

60 La presente sonda puede aportar información de feedback para el control de los sistemas de acondicionamiento de los gases de combustión, a fin de garantizar un funcionamiento eficaz del ESP con unos niveles mínimos de ácido sulfúrico y neblina de ácido sulfúrico (SAM) en la salida del ESP, para controlar la opacidad relacionada con la pluma azul y la SAM.

5 En una realización preferente de la presente invención, el gas está compuesto por gases de combustión procedentes de una central de generación eléctrica, además la invención comprende el control de las temperaturas de funcionamiento de los equipos específicos de la planta de forma que se encuentren por encima de una temperatura mínima, a fin de impedir la condensación de especies condensables. Ventajosamente, el equipo de la planta consta al menos de un calentador de aire. Concretamente, dicho calentador de aire opera a una temperatura controlada para maximizar la recuperación de calor.

De acuerdo con la invención, también es preferente la inyección de sodio en el gas en una proporción seleccionada, de forma que la tasa de inyección de sodio se ajuste tras la determinación de la concentración de una especie condensable en un compuesto de sodio que se encuentre presente en el gas.

10 En una realización preferente de la invención, el método está además adaptado a la determinación de la presencia de trióxido de azufre en un gas. El método preferente comprende las etapas de obtener una muestra de un gas que pueda contener trióxido de azufre; calentar la muestra a una temperatura superior a 260°C (500°F) para descomponer y evaporar todas las partículas de ácido sulfúrico y ácido sulfúrico en aerosol presentes en la muestra;
 15 refrigerar la muestra a una temperatura inferior a 204°C (400°F) a fin de convertir la totalidad del trióxido de azufre en ácido sulfúrico; situar una sonda en la muestra, donde dicha sonda posee una pluralidad de contactos separados dispuestos sobre una superficie exterior no conductora; calentar la superficie exterior no conductora de acuerdo con la tasa de calentamiento seleccionada y entonces enfriar la superficie exterior no conductora de acuerdo con una tasa de enfriamiento seleccionada durante un período de tiempo seleccionado; supervisar el flujo de corriente que fluye entre los contactos durante el período de tiempo seleccionado; controlar la temperatura de la superficie exterior
 20 no conductora de la sonda; determinar la presencia de un pico en la representación gráfica del flujo de corriente; identificar la temperatura correspondiente a cada pico; y determinar si una temperatura identificada corresponde a un punto de rocío cinético del ácido sulfúrico.

25 En una realización preferente, dicha muestra se hace pasar a través de un filtro inercial que elimina las partículas de ceniza después de haber calentado la muestra y antes de su enfriamiento; a continuación la muestra se hace pasar a través de un catalizador de desnitrificación catalítica que opera a una temperatura entre 316°C a 482°C (600 y 900°F).

30 Aunque se ha descrito el método y la sonda en el contexto de un horno alimentado por carbón y de los ensayos realizados con gases de combustión, el presente método no se limita sólo a ello. El método y la sonda extienden su ámbito de aplicación a todos los condensables presentes en un gas multicomponente. Esto podría incluir aquellos gases creados o detectados en cualquier proceso químico que implique la presencia de gases multicomponente, así como a los gases encontrados en yacimientos petrolíferos y gasíferos. Asimismo, el método puede utilizarse en un amplio rango de temperaturas, que van desde la temperatura de aire criogénico hasta las elevadas temperaturas de los gases de condensación metálica.

35 Aunque se han descrito diversas realizaciones actuales de la sonda y del método para determinar la cantidad de especies condensables presentes en un gas que las contiene, ha de entenderse que la invención no se limita a las mismas, sino que puede materializarse de diversas formas, dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para determinar la cantidad de especies condensables presentes en un gas que contiene especies condensables, donde se coloca una sonda (20, 40) en un gas que contiene especies condensables, presentando la sonda una pluralidad de contactos separados (31, 32) dispuestos sobre una superficie exterior no conductora, caracterizado porque:
- se calienta la superficie exterior no conductora de acuerdo con una tasa de calentamiento determinada y posteriormente se enfría la superficie exterior no conductora de acuerdo con una tasa de enfriamiento determinada, durante un período de tiempo determinado;
- 10 se supervisa la corriente que circula entre los contactos (31, 32) durante el período de tiempo determinado;
- se supervisa la temperatura de la superficie no conductora de la sonda (20, 40) durante el período de tiempo determinado;
- se identifican los picos en un gráfico del flujo de corriente durante el período de tiempo determinado;
- se identifica la temperatura para el tiempo correspondiente a cada pico; y
- 15 se correlaciona cuáles son las especies condensables que presentan un punto de rocío cinético en cada una de las temperaturas identificadas, siendo el punto de rocío cinético la temperatura a la cual la tasa de evaporación del material condensado se iguala a la tasa de condensación, y se identifica con el correspondiente pico en el gráfico del flujo de corriente; y para cada una de las especies condensables identificadas se compara la temperatura identificada correspondiente a dicha especie con la correlación
- 20 predeterminada entre el punto de rocío y la concentración correspondiente a dicha especie, a fin de determinar una concentración de dicha especie condensable presente en el gas.
2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque la sonda (20, 40) se calienta durante un tiempo de entre 0,5 y 30 minutos.
- 25 3. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque la sonda (20, 40) se enfría durante un tiempo de entre 0,5 y 30 minutos.
4. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque el gas es un gas de combustión.
5. Método según la reivindicación 4, caracterizado porque las especies condensables son al menos una de bisulfato amónico, bisulfato sódico, trióxido de azufre y agua.
- 30 6. Método según la reivindicación 4, que también comprende la inyección en los gases de combustión de un aditivo seleccionado de entre el grupo consistente en amoníaco, compuestos amónicos, calcio, compuestos de calcio, sodio, compuestos de sodio, magnesio y compuestos de magnesio.
7. Método según la reivindicación 6, caracterizado porque el aditivo se selecciona en función de los compuestos condensables que se han identificado.
- 35 8. Método según la reivindicación 4, caracterizado porque se inyecta amoníaco en el gas de combustión, habiéndose identificado el bisulfato de amonio como compuesto condensable, y porque también comprende ajustar la inyección de amoníaco para reducir al mínimo o eliminar de los gases de combustión el bisulfato amónico.
9. Método según la reivindicación 8, caracterizado porque el amoníaco se inyecta a través de diversas boquillas, y porque también comprende ajustar al menos una de las boquillas para modificar el flujo de amoníaco a través de la totalidad de las mismas.
- 40 10. Método según la reivindicación 1, que también comprende ajustar la tasa de calentamiento seleccionada durante el período de tiempo determinado.
11. Método según la reivindicación 1, que también comprende ajustar la tasa de enfriamiento seleccionada durante el período de tiempo determinado.
- 45 12. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque el gas es un gas de combustión y en el que se inyecta al menos un aditivo al menos a través de un inyector, y porque comprende ajustar al menos un inyector en

respuesta a la concentración de al menos una de las especies condensables detectadas en el gas de combustión.

- 5 **13.** Método según la reivindicación 1, caracterizado porque el gas es un gas de combustión procedente de una central eléctrica y porque comprende adicionalmente controlar las temperaturas de funcionamiento de diversos equipos específicos de la central de forma que se mantengan por encima de una temperatura mínima, para evitar la condensación de las especies condensables cuya presencia se ha detectado.
14. Método según la reivindicación 1, que también incluye calentar la sonda hasta alcanzar una temperatura superior a la temperatura del gas a la cual se ha insertado la sonda (20, 40).
15. Método según la reivindicación 1, que también comprende:
- 10 obtener una muestra de un gas que puede contener trióxido de azufre;
- antes de calentar la sonda (20, 40), calentar el gas a una temperatura superior a 260°C para descomponer y vaporizar todo el ácido sulfúrico en aerosol y particulado presente en la muestra;
- enfriar el gas durante el período de tiempo seleccionado a una temperatura inferior a 204°C para que todo el trióxido de azufre se convierta en ácido sulfúrico; y
- 15 determinar si una temperatura identificada corresponde a un punto de rocío cinético del ácido sulfúrico, siendo el punto de rocío cinético la temperatura a la cual la tasa de evaporación del material condensado se iguala con la tasa de condensación y a la cual se identifica el correspondiente pico en el gráfico del flujo de corriente.

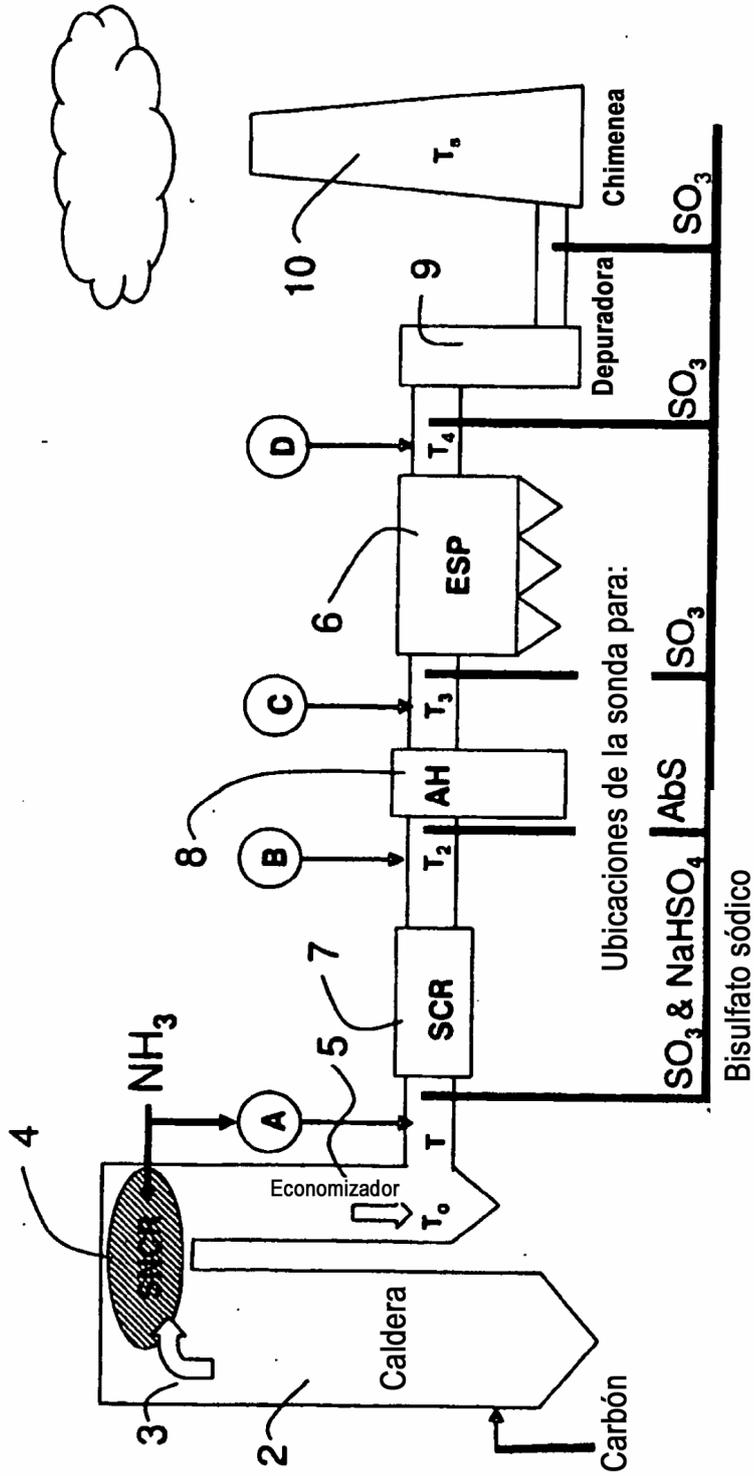


Figura 1

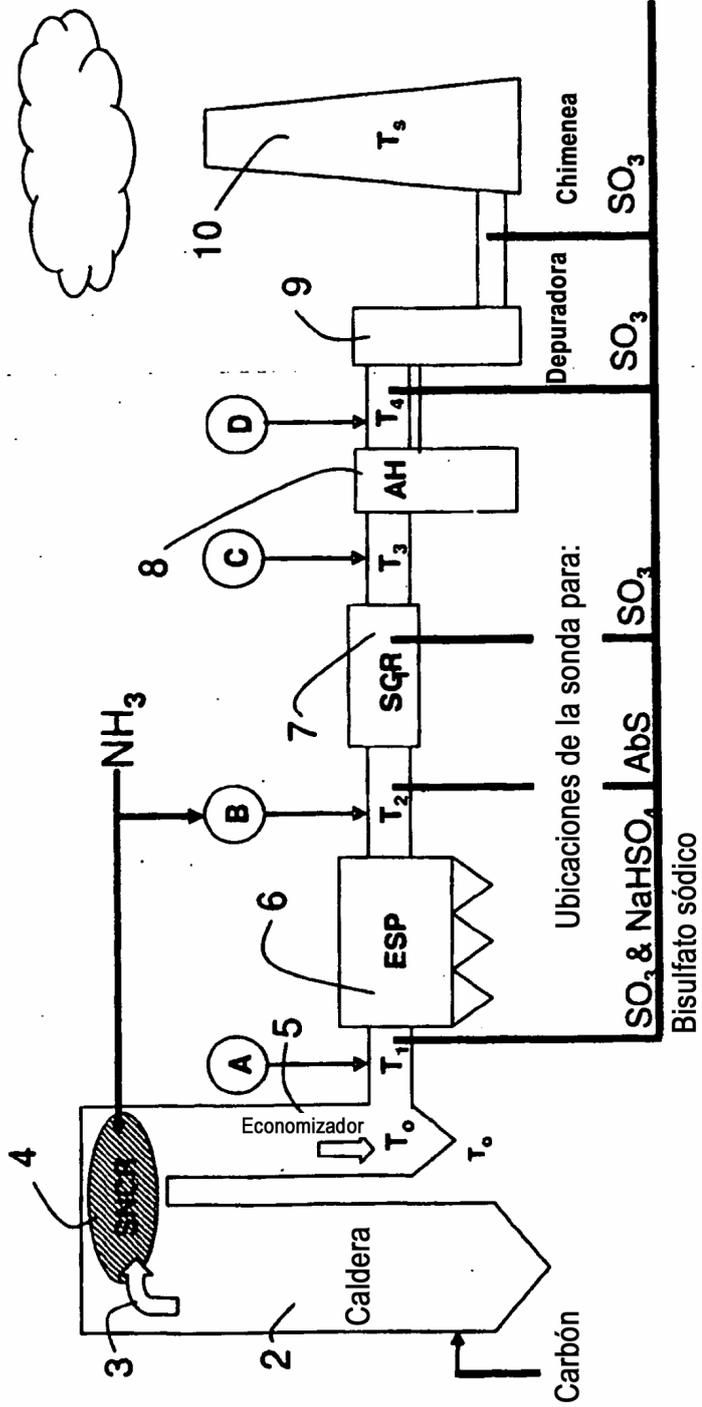


Figura 2

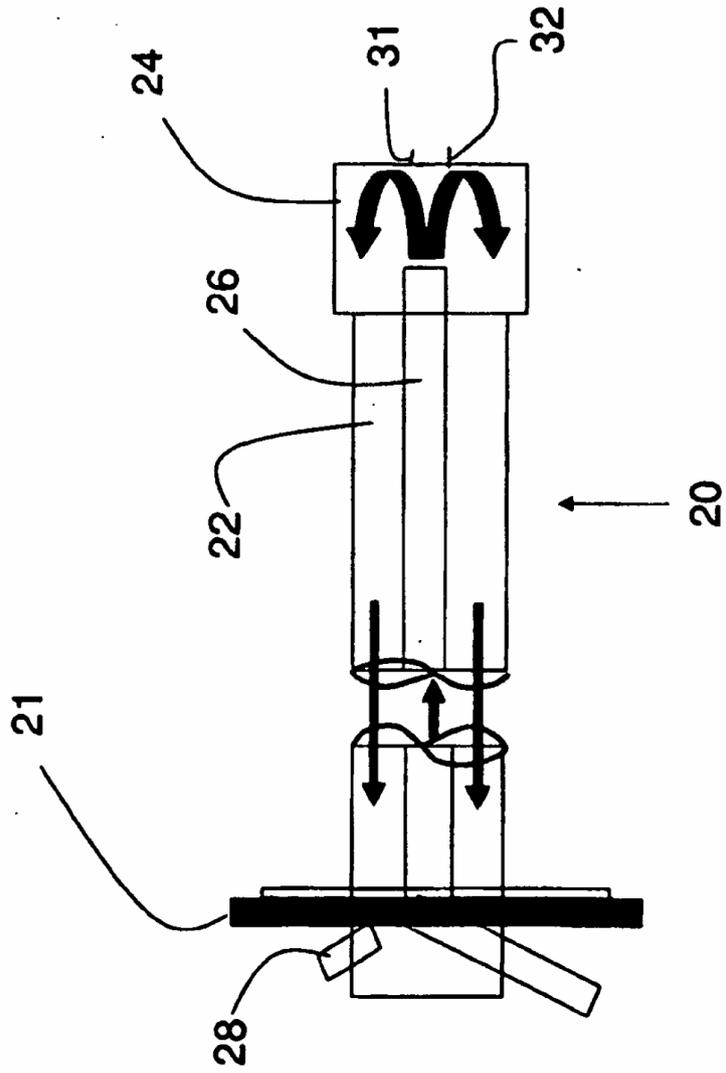


Figura 3

Figura 4

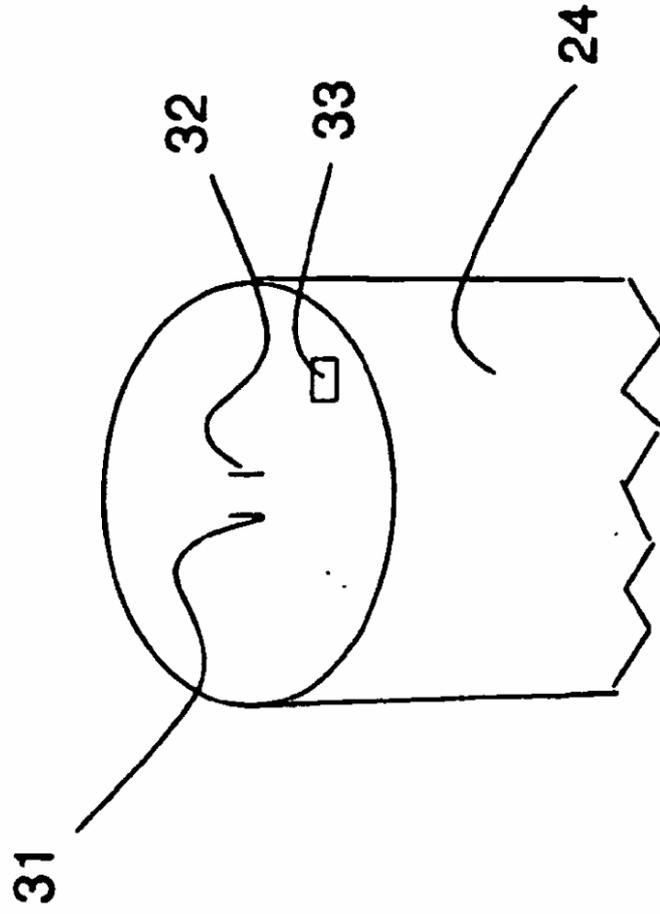
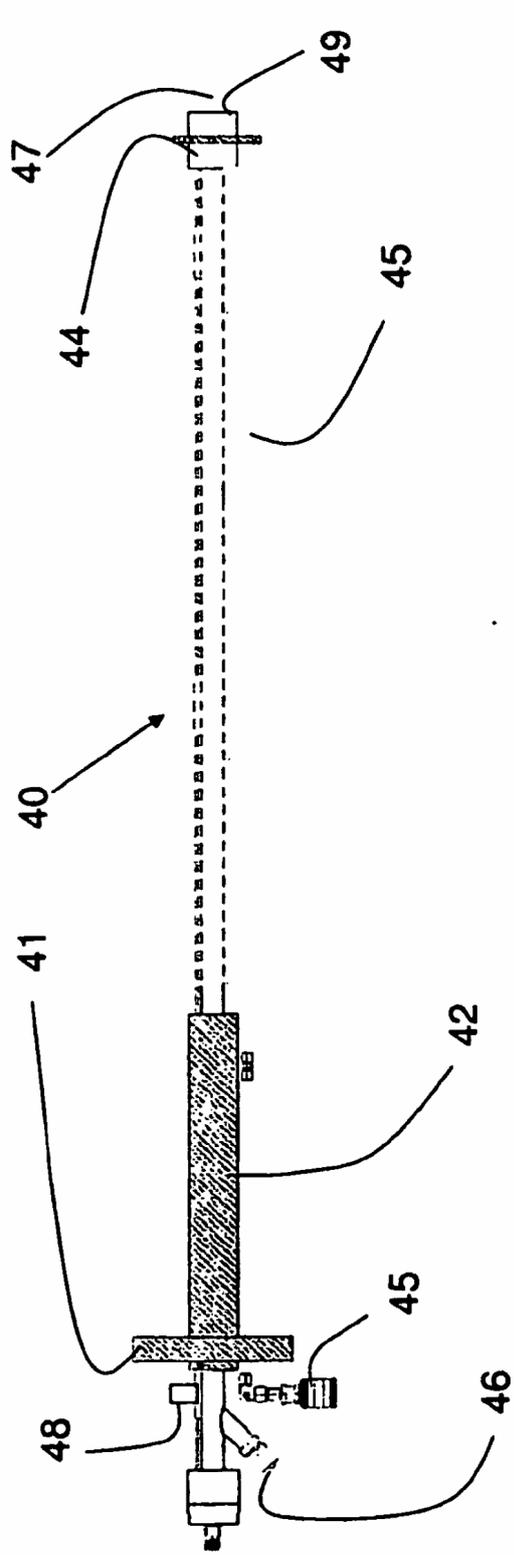


Figura 5



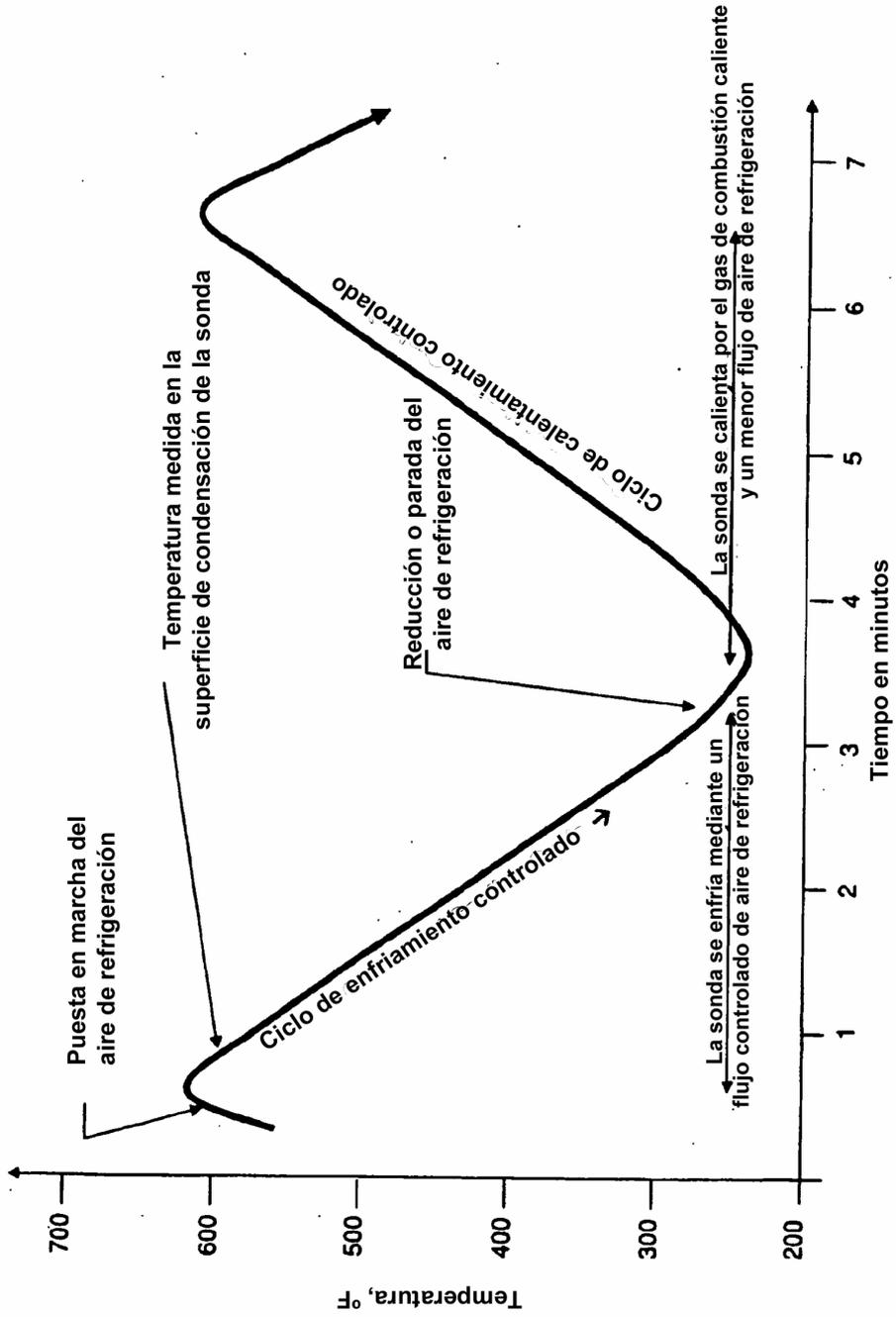


Figura 6

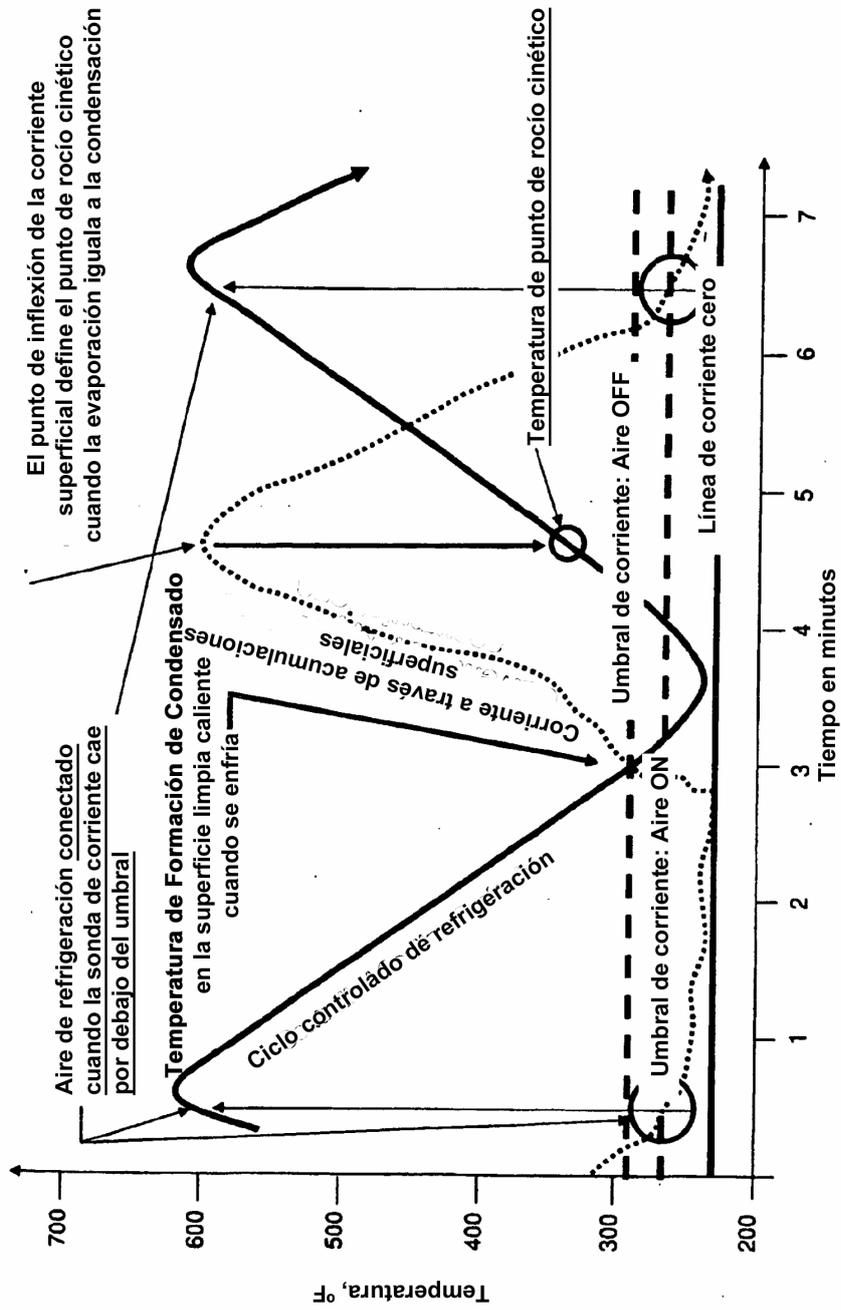


Figura 7

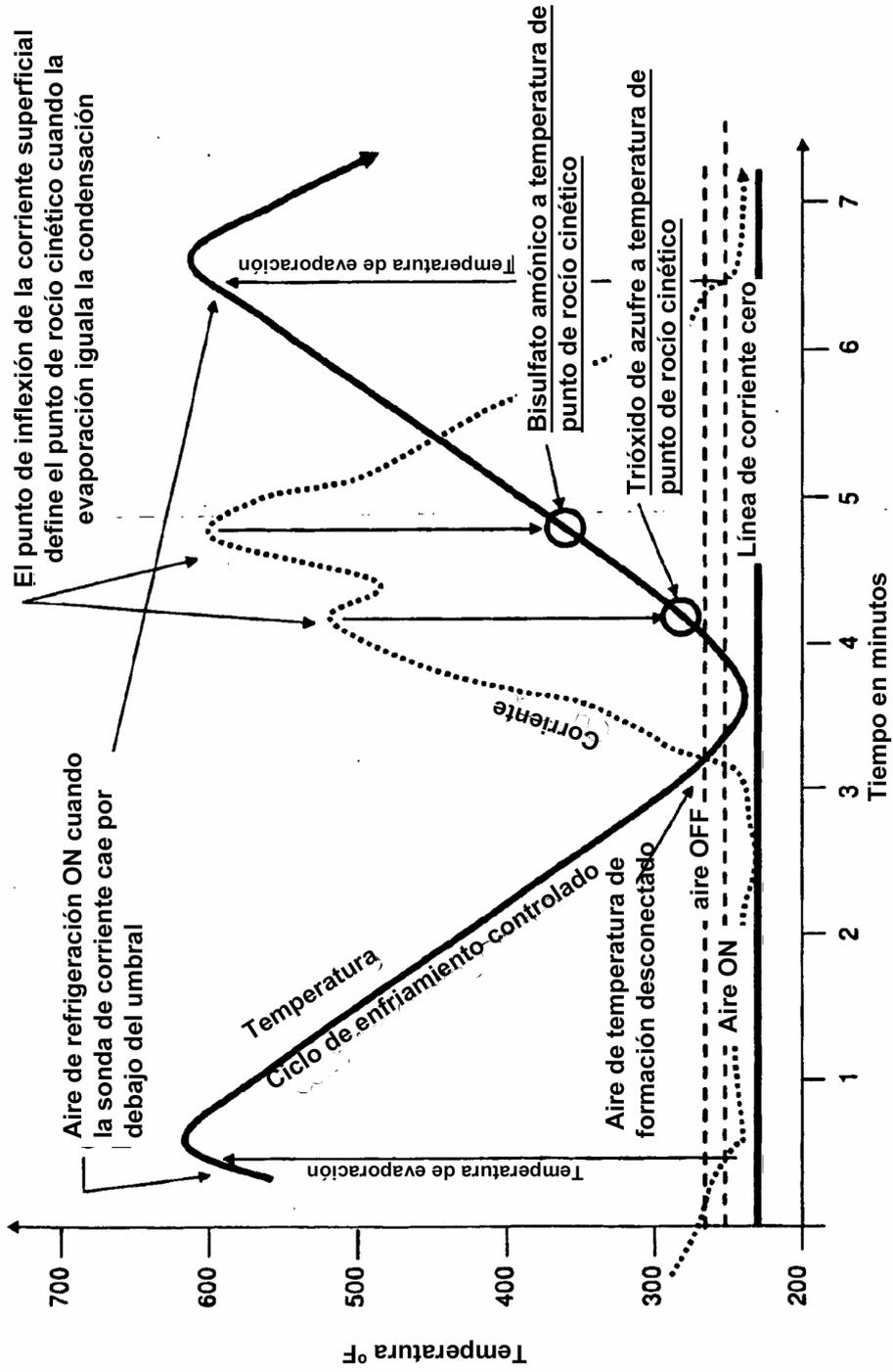


Figura 8

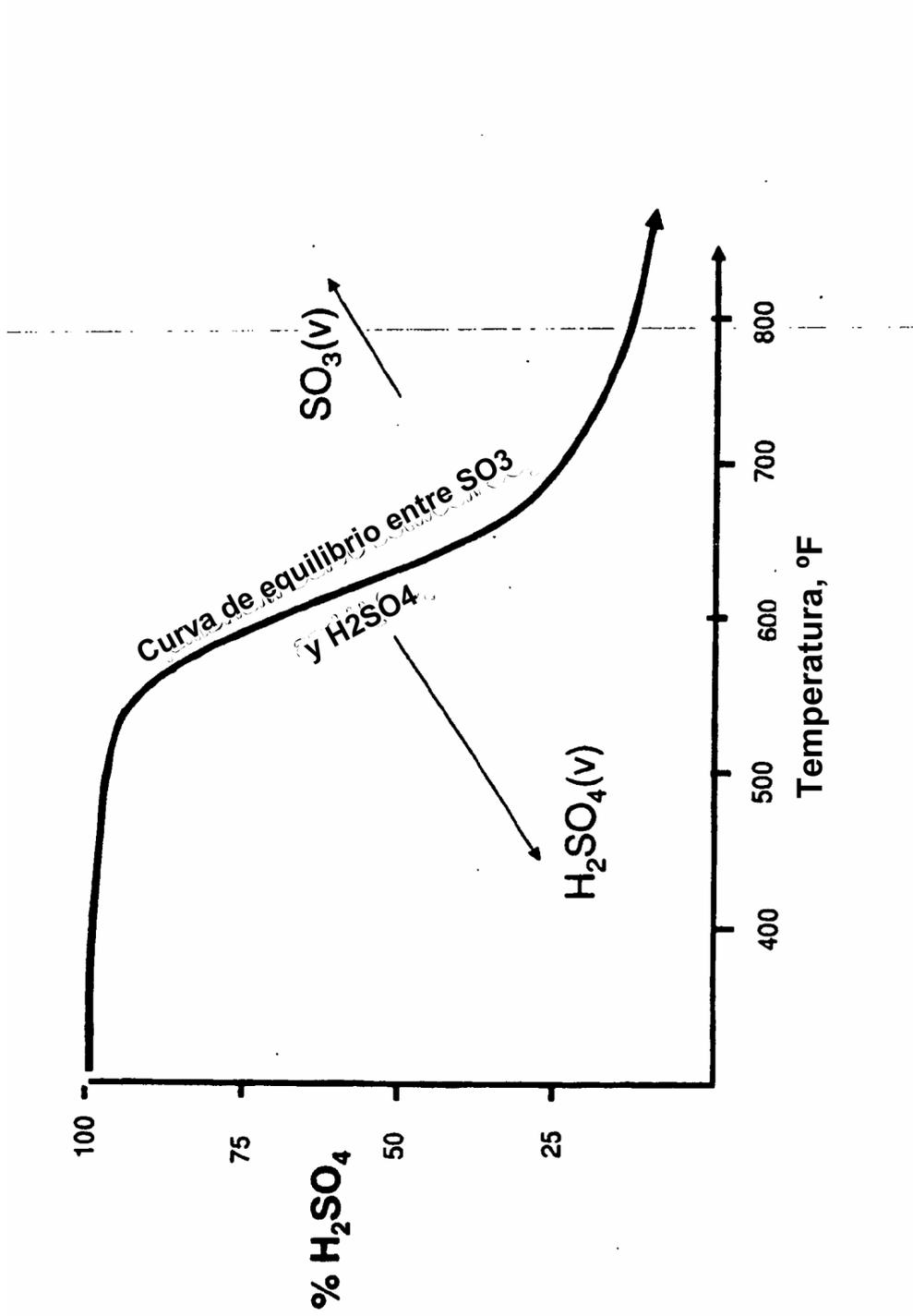


Figura 9

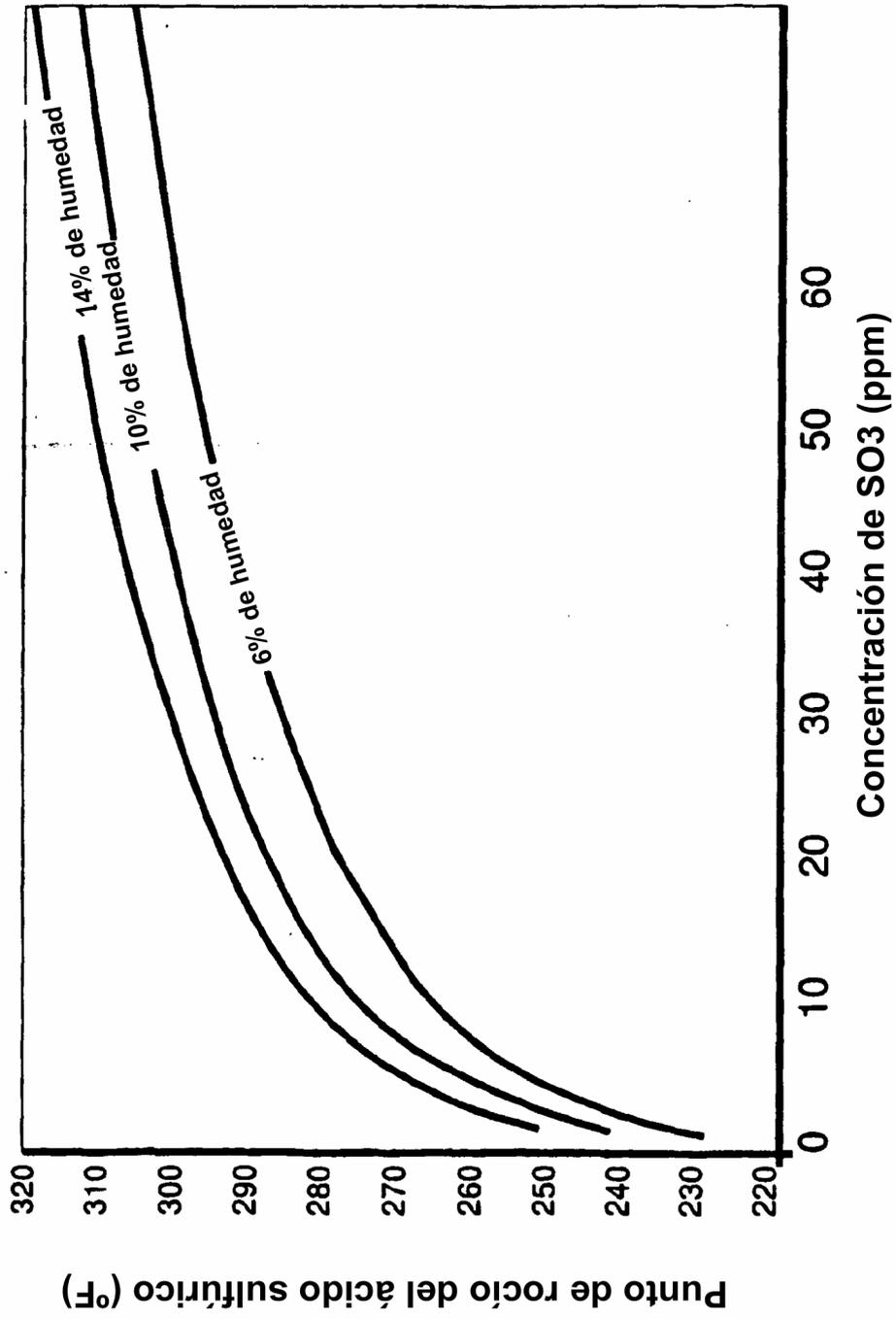


Figura 10

Figura 11

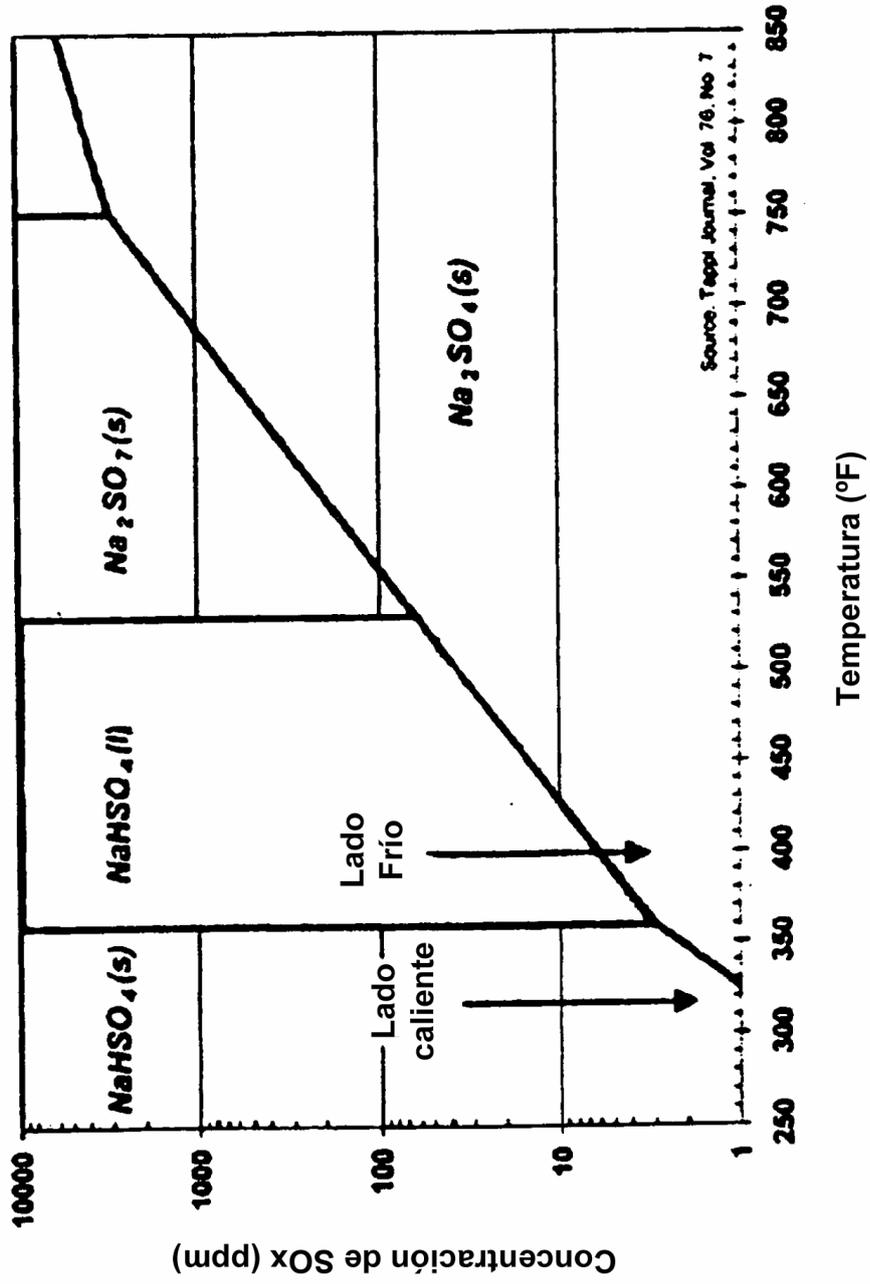
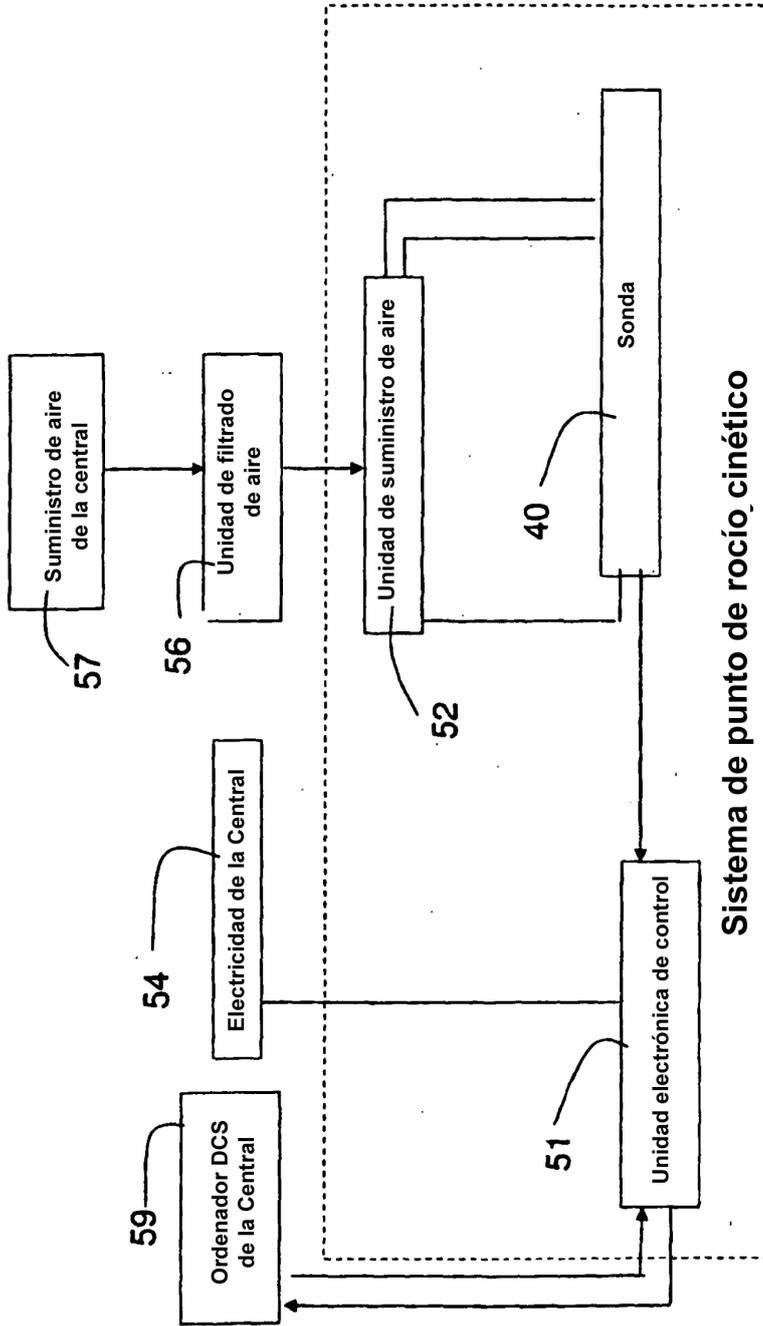


Figura 12



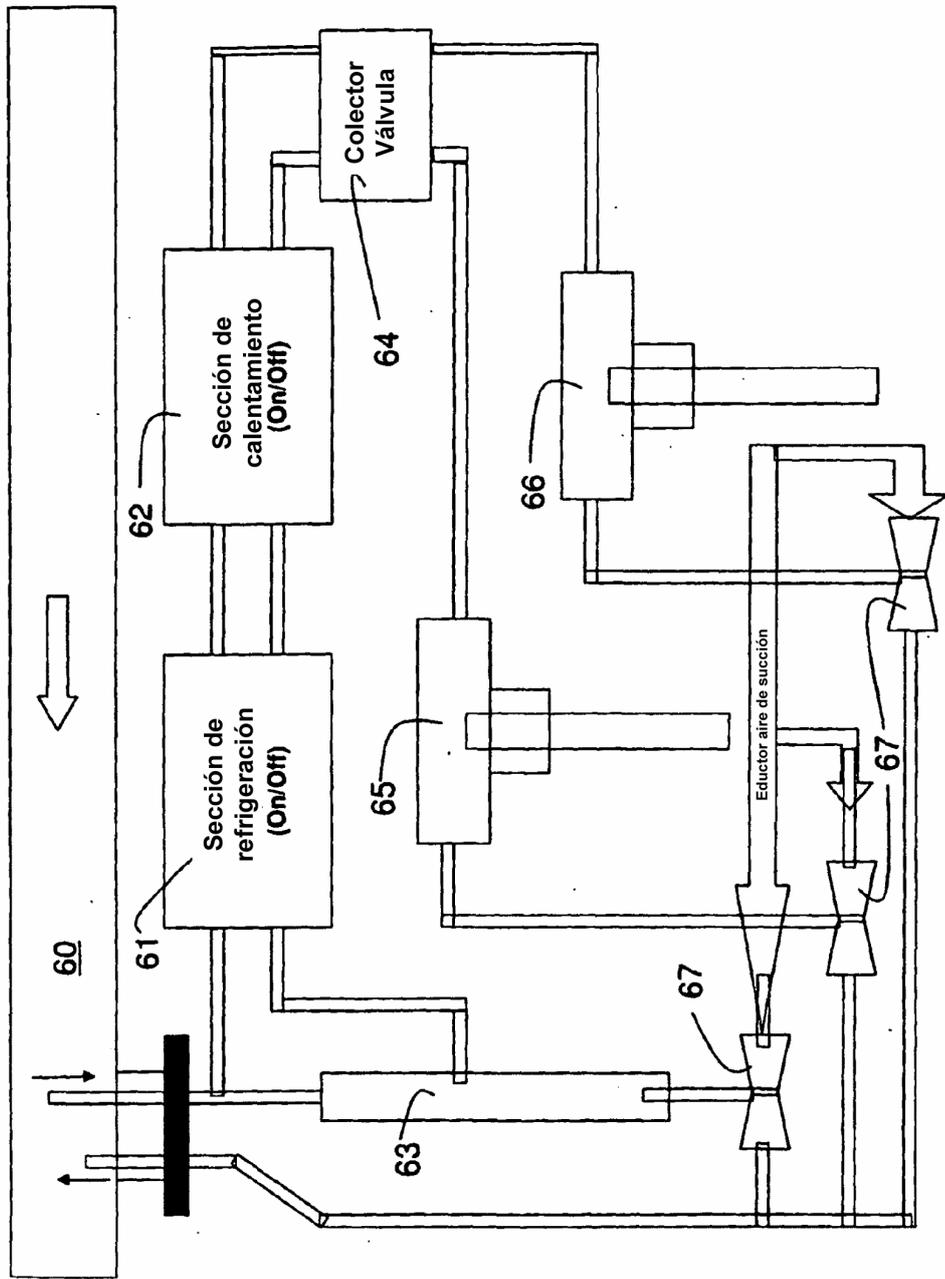


Figura 13

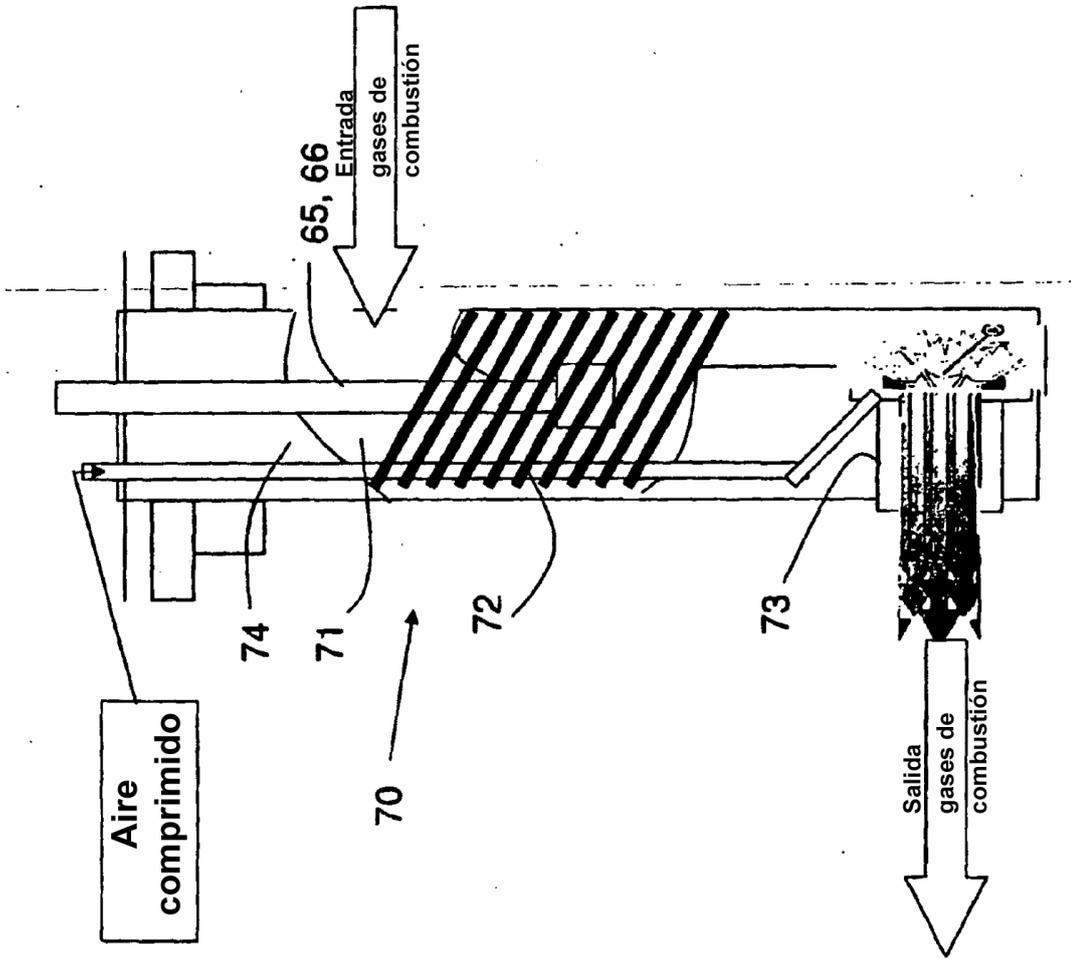


Figura 14