

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 896 753**

51 Int. Cl.:

B01D 53/02 (2006.01)

B01D 53/64 (2006.01)

B01D 53/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.04.2011** **PCT/US2011/031638**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.10.2011** **WO11127323**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.04.2011** **E 11766760 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.09.2021** **EP 2555851**

54 Título: **Métodos para eliminar mercurio del gas de combustión**

30 Prioridad:

07.04.2010 US 321696 P

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

25.02.2022

73 Titular/es:

CALGON CARBON CORPORATION (100.0%)
3000 GSK Drive
Moon Township, PA 15108, US

72 Inventor/es:

POLLACK, NICHOLAS R. y
HAYDEN, RICHARD A.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 896 753 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

Métodos para eliminar mercurio del gas de combustión

A lo largo de toda esta solicitud se usa la siguiente terminología para los números:

"," se usa como una coma, separando así números completos seguidos de números decimales. Por ejemplo, "1,54" se debe leer y entender como "uno coma cinco cuatro".

"," se usa para hacer que los números grandes sean más legibles e indica separadores para miles, millones, etc. Por ejemplo, "2.000.000" se debe leer y entender como "dos millones".

La presente invención se refiere a un método para reducir las emisiones de metales pesados.

El documento WO 93/08902 A1 describe un método para mejorar la capacidad de eliminación de Hg de un proceso de limpieza de gases de combustión para gases de combustión de centrales eléctricas de combustión de carbón que usan sistemas de absorción de secado por atomización ajustando el contenido de cloruro del gas de combustión o del absorbente. El documento US 2004/0013589 A1 describe un proceso para eliminar el mercurio de los gases de combustión de centrales eléctricas y plantas de incineración de desechos en las que se alimenta un compuesto de bromo al horno y/o al gas de combustión en una sección de la planta corriente abajo del horno. El documento US 2009/0136401 A1 describe una composición oxidativa sorbente para la eliminación de mercurio de una corriente fluida, que comprende uno o más haluros de un metal no oxidativo, una o más partículas de sustrato mineral y carbón activado en una cantidad de hasta el 30% en peso. El documento WO 2008/064360 A2 describe composiciones y métodos para secuestrar el mercurio de los gases de combustión en el hormigón. El documento US 2004/0244657 A1 describe el control de las emisiones de mercurio derivadas de la combustión de combustibles sólidos. B-PAC™ es un conocido carbón activado en polvo bromado de alto rendimiento.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método para reducir las emisiones de metales pesados que incluyen las etapas de quemar un combustible que contiene metales pesados en una cámara de combustión, introducir halógeno molecular o uno o más precursores de halógeno en la cámara de combustión o una corriente de escape que se origina de la combustión del combustible que contiene metales pesados cerca de la cámara de combustión, en donde el precursor de halógeno se introduce en la cámara de combustión o en una corriente de escape que tiene una temperatura superior a aproximadamente 538°C (1.000 °F), e introducir por separado un material sorbente que tiene un diámetro medio de partícula de menos de 15 µm en la corriente de escape que se origina de la quema del combustible que contiene metales pesados en la cámara de combustión, en donde el halógeno y el material sorbente se introducen en una proporción de aproximadamente 1,54 a aproximadamente 12,57 moles de halógeno por kilogramo (aproximadamente de 0,7 a aproximadamente 5,7 moles de halógeno por libra (lb)) de material sorbente. En algunas realizaciones, el uno o más precursores de halógeno pueden ser hipoclorito de calcio, hipobromito de calcio, hipoyodito de calcio, cloruro de calcio, bromuro de calcio, yoduro de calcio, cloruro de magnesio, bromuro de magnesio, yoduro de magnesio, cloruro de sodio, bromuro de sodio, yoduro de sodio, cloruro de amonio, bromuro de amonio, yoduro de amonio, tri-cloruro de potasio, tri-bromuro de potasio y tri-yoduro de potasio. En otras realizaciones, los precursores de halógeno pueden ser bromuro de calcio, y aún en otras realizaciones, el uno o más precursores de halógeno pueden ser un sólido o polvo, en una solución acuosa o un halógeno gaseoso. De acuerdo con la presente invención, el halógeno molecular o uno o más precursores de halógeno se introducen en la cámara de combustión o una corriente de escape que se origina de la combustión del combustible que contiene metales pesados cercanos a una concentración y/o velocidad de adición suficiente para dar como resultado una concentración de halógeno para generar una proporción de halógeno a material adsorbente de aproximadamente 1,54 a aproximadamente 12,57 moles de halógeno por kilogramo (aproximadamente de 0,7 moles/lb a aproximadamente 5,7 moles/lb) o aproximadamente de 1,76 moles/kg (0,8 moles/lb) a aproximadamente 6,83 moles/kg (3,1 moles/lb) de halógeno a material adsorbente. En algunas realizaciones, se puede introducir una solución acuosa de un precursor de halógeno que tiene una concentración de aproximadamente el 50% en peso en la cámara de combustión o una corriente de escape que se origina de la combustión del combustible que contiene metales pesados cerca de la cámara de combustión a una velocidad menor que 37,9 litros por hora (10 galones por hora). En otras realizaciones, el precursor de halógeno se puede introducir con la fuente de combustible, inyectarse en la cámara de combustión, inyectarse en la corriente de escape cerca de la cámara de combustión o combinaciones de los estas. En algunas realizaciones, el carbón activado tiene un diámetro medio de partícula de aproximadamente 2 µm a 10 µm. En otras realizaciones, el material sorbente se puede inyectar en la corriente de escape a una velocidad de menos de aproximadamente 0,080 g/m³ (5 libras por millón de pies cúbicos reales (lb/MMacf)), menos de aproximadamente 0,064 g/m³ (4 lb/MMacf), menos de aproximadamente 0,048 (3 lb/MMacf), o menos de aproximadamente 0,016 g/m³ (1 lb/MMacf) en función del flujo total de la corriente de escape, y en realizaciones particulares, el material sorbente se puede inyectar en la corriente de escape a una velocidad de menos de 45,4 kg/h (100 lb/h). En ciertas realizaciones, los materiales sorbentes inyectados corriente arriba de un precalentador de aire (APH), y en realizaciones particulares, se puede eliminar aproximadamente el 90% del mercurio en la fuente de combustible. En algunas realizaciones, la fuente de combustible puede ser carbón.

Para una comprensión más completa de la naturaleza y las ventajas de la presente invención, se debe hacer referencia a la siguiente descripción detallada tomada en relación con los dibujos adjuntos, en los que:

La FIG. 1 muestra un diagrama de flujo que muestra los elementos de una central eléctrica de carbón ejemplar.

La FIG. 2 muestra un gráfico que compara el porcentaje de eliminación de mercurio frente a la velocidad de inyección de carbón activado.

5 También se debe tener en cuenta que, como se usa en esta memoria y en las reivindicaciones adjuntas, las formas singulares "un", "una" y "el/la" incluyen la referencia en plural a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Así, por ejemplo, la referencia a "una cámara de combustión" es una referencia a "una o más cámaras de combustión" y sus equivalentes conocidos por los expertos en la técnica, y así sucesivamente.

Como se usa en esta memoria, el término "aproximadamente" significa más o menos el 10% del valor numérico del número con el que se está usando. Por lo tanto, aproximadamente el 50% significa en el intervalo del 45% al 55%.

10 Como se usa en esta memoria, el término "material sorbente" pretende abarcar todos los materiales conocidos de cualquier fuente capaz de adsorber mercurio. Por ejemplo, los materiales sorbentes incluyen, pero no se limitan a, carbón activado, zeolita natural y sintética, sílice, gel de sílice, alúmina y tierras de diatomeas.

15 El mercurio es un peligro ambiental conocido y da lugar a problemas de salud tanto para los seres humanos como para las especies animales no humanas. Aproximadamente se liberan 45,36 toneladas (50 toneladas) por año a la atmósfera en los Estados Unidos, y una fracción significativa de la liberación proviene de las emisiones de las instalaciones de combustión de carbón, como los servicios eléctricos. Para salvaguardar la salud del público y proteger el medio ambiente, la industria de servicios públicos continúa desarrollando, probando e implementando sistemas para reducir el nivel de emisiones de mercurio de sus plantas. En la combustión de materiales carbonosos, es deseable tener un proceso en donde se capturen y se retengan el mercurio y otros compuestos indeseables después de la fase de combustión para que no se liberen a la atmósfera.

20 Una de las soluciones más prometedoras para la eliminación de mercurio de los gases de combustión es la inyección de carbón activado (ICA). El carbón activado es un material altamente poroso, no tóxico y fácilmente disponible que tiene una alta afinidad por el vapor de mercurio. Esta tecnología ya está establecida para su uso con incineradores municipales. Aunque la tecnología ICA es eficaz para la eliminación de mercurio, el corto tiempo de contacto entre el carbón activado y la corriente de gas de combustión da como resultado un uso ineficaz de la capacidad de adsorción total del carbón activado.

25 Varias realizaciones de la invención están dirigidas a métodos para eliminar metales pesados como, por ejemplo, mercurio, de una corriente fluida producida como resultado de la combustión de una fuente de combustible que contiene metales pesados mediante la aplicación de un halógeno molecular o un precursor de halógeno a la fuente de combustible o mediante la introducción de un halógeno molecular o precursor de halógeno en una cámara de combustión durante la combustión de la fuente de combustible o mediante la introducción de un halógeno molecular o un precursor de halógeno en una corriente de escape que se origina de la combustión de la fuente de combustible cerca de la cámara de combustión e inyectar por separado un material sorbente en la corriente de escape, *es decir*, gas de combustión, que se origina del consumo de la fuente de combustible. En tales realizaciones, la combinación de aplicar el halógeno molecular o el precursor de halógeno a la fuente de combustible o inyectar el halógeno molecular o el precursor de halógeno en la cámara de combustión y la inyección separada de material sorbente en la corriente de escape puede dar lugar a una reducción sustancial de las emisiones de metales pesados de la corriente de escape mientras se reduce significativamente la cantidad tanto del halógeno molecular o del precursor de halógeno como del material sorbente usado en tales métodos. En realizaciones particulares, la eliminación de mercurio se mejora con respecto a los métodos convencionales. En algunas realizaciones, se puede eliminar más de aproximadamente el 80% o más de aproximadamente el 90% de los metales pesados de la corriente de escape en función del contenido de metales pesados de la fuente de combustible. Por tanto, la combinación consigue velocidades de eliminación similares o mejoradas al tiempo que reduce el consumo del halógeno molecular o del precursor de halógeno y del material sorbente, reduciendo así los costes.

30 Los métodos y sistemas descritos anteriormente se pueden implementar en cualquier sistema convencional que implique la combustión de una fuente de combustible que incluya metales pesados. Se conocen y se usan en la técnica numerosos sistemas e instalaciones que queman combustibles que contienen metales pesados. Por ejemplo, algunas realizaciones proporcionan composiciones, métodos y sistemas para reducir las emisiones de metales pesados de los incineradores, incluidos los incineradores de residuos sólidos. Otras realizaciones proporcionan composiciones, métodos y sistemas para reducir las emisiones de metales pesados tales como el mercurio que surge de la combustión de combustibles fósiles que contienen metales pesados, por ejemplo, en centrales eléctricas.

35 La FIG. 1 proporciona un diagrama de flujo que representa partes relevantes de una central eléctrica de carbón ejemplar. Como se indica en la FIG. 1, algunas de estas instalaciones pueden incluir un mecanismo de alimentación como un transportador 1 para llevar combustible como carbón dentro de un horno o cámara de combustión 2 donde se quema la fuente de combustible. El combustible alimentado al horno se quema en presencia de oxígeno con temperaturas de llama típicas en la cámara de combustión del horno de aproximadamente 1.482°C a aproximadamente 1.649°C (aproximadamente de 2.700 °F a aproximadamente 3.000.°F) como se indica a la derecha del diagrama de flujo. En funcionamiento, el combustible se puede alimentar al horno a una velocidad adecuada para lograr la salida deseada del

horno, el calor a partir del cual se puede usar para hervir agua para vapor o proporcionar calor directo que se puede usar para hacer girar las turbinas que se usan finalmente para producir electricidad (no se muestra en la imagen). Desde el horno o la cámara de combustión **2**, las cenizas, los gases de combustión y el aire se mueven corriente abajo, alejándose de la bola de fuego, hacia una vía convectiva o corriente de escape (flecha grande a la izquierda del diagrama) que puede incluir varias zonas de temperatura decreciente como se indica a la derecha. Desde la cámara de combustión, la ceniza calentada, los gases de combustión y el aire pueden pasar a través de un sobrecalentador **3** y, en algunos casos, un recalentador **4** donde, por ejemplo, se calienta el agua para proporcionar vapor que finalmente impulsará una turbina que se usa para generar electricidad. Las cenizas, los gases de combustión y el aire también pueden pasar a través de, por ejemplo, un economizador **5** donde se calienta previamente el agua alimentada al sobrecalentador **3** y/o recalentador **4**, y un precalentador de aire **6** donde se calienta previamente el aire alimentado en la cámara de combustión **2**. Los gases de combustión y las cenizas pueden finalmente pasar a través de una cámara de filtros o un precipitador electrostático **7** donde se recolecta el material particulado. En este momento, la temperatura de la ceniza, los gases de combustión y el aire se reduce a aproximadamente 149°C (aproximadamente 300 °F) antes de ser emitidos desde la chimenea **8** y liberados a la atmósfera.

En algunas realizaciones, la fuente de halógeno se puede introducir durante la combustión inyectando halógeno molecular o un precursor de halógeno **B** en la cámara de combustión **2** o aplicando la fuente de halógeno directamente a la fuente de combustible antes de la combustión. **A**. En otras realizaciones, el halógeno se puede encontrar en la fuente de combustible. Por ejemplo, los desechos que incluyen plásticos o cauchos pueden incluir componentes que contienen halógeno que pueden liberar iones halógenos o halógenos moleculares durante la incineración. En varias realizaciones, se puede inyectar material sorbente en la corriente de escape en cualquier lugar a lo largo de la vía de convección antes de la emisión de las cenizas, gases de combustión y aire a la atmósfera, y en realizaciones particulares, se puede inyectar material sorbente corriente arriba de la cámara de filtros o del precipitador electrostático **7**. En ciertas realizaciones, el material sorbente se puede inyectar corriente arriba **C** del precalentador de aire (APH) **6**, y en algunas realizaciones, se puede inyectar material sorbente en la corriente de escape corriente abajo **D** del APH **6**. En otras realizaciones más, el material sorbente se puede inyectar tanto corriente arriba **C** del APH **6** como corriente abajo **D** del APH **6**.

El halógeno molecular o el precursor de halógeno de diversas realizaciones se puede obtener a partir de cualquier fuente. Por ejemplo, en algunas realizaciones, se pueden inyectar fuentes moleculares tales como cloro gaseoso, bromo gaseoso o yodo gaseoso en la corriente de escape cerca de la cámara de combustión solos o en combinación con un precursor de halógeno. En otras realizaciones, se pueden aplicar uno o más precursores de halógeno a la fuente de combustible, introducirse en la cámara de combustión, inyectarse en la corriente de escape cerca de la cámara de combustión, o una combinación de estas.

Se conocen en la técnica numerosos precursores de halógeno (precursores de halógeno) y se pueden usar en realizaciones de la invención. En algunas realizaciones, el precursor de halógeno puede ser un precursor gaseoso como, por ejemplo, cloruro de hidrógeno, bromuro de hidrógeno o cloruro o bromuro molecular. El precursor de halógeno puede ser un compuesto orgánico o inorgánico que contiene halógeno. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el precursor de halógeno puede ser una o más sales inorgánicas de halógeno, que para el bromo pueden incluir bromuros, bromatos e hipobromitos, para el yodo pueden incluir yoduros, yodatos e hipoyoditos, y para el cloro pueden ser cloruros, cloratos e hipocloratos. En determinadas realizaciones, la sal de halógeno inorgánica puede ser una sal de halógeno que contiene un metal alcalino o un elemento alcalinotérreo donde la sal de halógeno inorgánica está asociada con un contraión de metal alcalino como litio, sodio y potasio o un metal alcalinotérreo como berilio, magnesio, y calcio. Los ejemplos no limitantes de sales de halógeno inorgánicas que incluyen contraiones de metales alcalinos y metales alcalinotérreos incluyen hipoclorito de calcio, hipobromito de calcio, hipoyodito de calcio, cloruro de calcio, bromuro de calcio, yoduro de calcio, cloruro de magnesio, bromuro de magnesio, yoduro de magnesio, cloruro de sodio, bromuro de sodio, yoduro de sodio, cloruro de amonio, bromuro de amonio, yoduro de amonio, tri-cloruro de potasio, tri-bromuro de potasio, tri-yoduro de potasio y similares. En otras realizaciones, el halógeno puede proceder de una fuente orgánica, que contiene un nivel adecuadamente alto del halógeno. Los precursores de halógenos orgánicos incluyen, por ejemplo, cloruro de metileno, bromuro de metileno, yoduro de metileno, cloruro de etilo, bromuro de etilo, yoduro de etilo, cloroformo, bromoformo, yodoformo, tetracloruro de carbonato, tetrabromuro de carbonato, tetrayoduro de carbonato y similares.

En algunas realizaciones, el precursor de halógeno puede incluir uno o más elementos adicionales como, por ejemplo, una fuente de calcio, una fuente de magnesio, una fuente de nitrato, una fuente de nitrito o una combinación de estas. Las fuentes de calcio y magnesio ejemplares son bien conocidas en la técnica y pueden ser útiles para ayudar en la eliminación de azufre en el gas de combustión que se libera de la fuente de combustible durante la combustión. En tales realizaciones, la fuente de calcio o magnesio puede incluir calcio inorgánico como, por ejemplo, óxidos de calcio, hidróxidos de calcio, carbonato de calcio, bicarbonato de calcio, sulfato de calcio, bisulfato de calcio, nitrato de calcio, nitrito de calcio, acetato de calcio, citrato de calcio, fosfato de calcio, hidrogenofosfato de calcio y minerales de calcio como apatita y similares, o compuestos orgánicos de calcio como, por ejemplo, sales de calcio de ácidos carboxílicos o alcoxilatos de calcio, o magnesio inorgánico como, por ejemplo, óxidos de magnesio, hidróxidos de magnesio, carbonato de magnesio, bicarbonato de magnesio, sulfato de magnesio, bisulfato de magnesio, nitrato de magnesio, nitrito de magnesio, acetato de magnesio, citrato de magnesio, fosfato de magnesio, hidrogenofosfato de magnesio y minerales de magnesio y similares, o compuestos orgánicos de magnesio tales como, por ejemplo, sales de magnesio de ácidos carboxílicos o alcoxilatos de magnesio. En determinadas realizaciones, la fuente de calcio o magnesio se puede asociar

con el precursor de haluro como, por ejemplo, bromuro de calcio, bromuro de magnesio, cloruro de calcio, cloruro de magnesio, yoduro de calcio, yoduro de magnesio y similares. Las fuentes de nitrato y nitrito también son bien conocidas en la técnica y cualquier fuente de nitrato o de nitrito se puede formular con un precursor de halógeno.

El precursor de halógeno puede ser un sólido, como un polvo, un líquido o un gas. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el precursor de halógeno puede ser una solución acuosa que se puede rociar sobre la fuente de combustible, como carbón, antes de la combustión o se puede inyectar en la cámara de combustión o en la corriente de escape cerca de la cámara de combustión. Se puede preparar una composición de precursor de halógeno líquida a cualquier concentración adecuada. Por ejemplo, en algunas realizaciones, una solución acuosa de un precursor de halógeno como, por ejemplo, bromuro de calcio o cloruro de calcio, puede tener una concentración de hasta aproximadamente el 75%, y en otras realizaciones, la concentración de precursor de halógeno en la solución acuosa puede ser de hasta aproximadamente el 60% en peso, el 55% en peso, el 50% en peso, el 45% en peso o el 40% en peso o cualquier concentración entre estos valores. En otras realizaciones más, una solución acuosa de un precursor de halógeno puede incluir aproximadamente de un 10% a aproximadamente un 75% en peso, aproximadamente de un 20% a aproximadamente un 60% en peso, aproximadamente de un 30% a aproximadamente un 55% en peso o aproximadamente de un 40% a aproximadamente un 55% en peso del precursor de halógeno. De manera similar, en otras realizaciones, el precursor de halógeno en polvo seco se puede aplicar al carbón a una concentración necesaria para lograr una concentración similar de halógeno en la corriente de gas de combustión.

En varias realizaciones, el halógeno molecular o el precursor de halógeno, que puede estar en forma sólida, como en forma de un polvo, líquido o un gas, se puede suministrar de forma continua a la cámara de combustión o se puede proporcionar de manera incremental durante la combustión. La velocidad de adición del halógeno molecular y del precursor de halógeno puede variar entre las realizaciones y puede depender, por ejemplo, de la velocidad de combustión de la fuente de combustible, del origen de la fuente de combustible, de la cantidad de mercurio en la fuente de combustible, de la adsorción del mercurio y similares. Por ejemplo, en algunas realizaciones, una solución acuosa de aproximadamente un 40% a aproximadamente un 55% en peso de un precursor de halógeno como, por ejemplo, bromuro de calcio o cloruro de calcio, se puede introducir en una cámara de combustión o inyectarse en una corriente de escape cerca del cámara de combustión a una velocidad de aproximadamente 1.893 litros/h (500 galones/h) o menos, y en otras realizaciones, una solución acuosa de aproximadamente 40% a aproximadamente 55% en peso del precursor de halógeno introducido en una cámara de combustión o inyectado en un corriente de escape cerca de la cámara de combustión a una velocidad de aproximadamente 1.514 litros/h (400 galones/h) o menos, 1.136 litros/h (300 galones/h) o menos, 757 litros/h (200 galones/h) o menos, o 379 litros/h (100 galones/h) o menos. En ciertas realizaciones, una solución acuosa de aproximadamente un 40% a aproximadamente un 55% en peso del precursor de halógeno introducida en una cámara de combustión o inyectada en una corriente de escape cerca de la cámara de combustión a una velocidad de menos de 189 litros/h (50 galones/h) o menos de 95 litros/h (25 galones/h) o menos de 67 litros/h (20 galones/h).

La velocidad de alimentación del halógeno molecular o del precursor de halógeno puede variar entre realizaciones y puede variar dependiendo, por ejemplo, de la velocidad de alimentación de la fuente de combustible y/o la velocidad de consumo de la fuente de combustible. Por ejemplo, una cámara de combustión que quema aproximadamente 299 toneladas/h (330 toneladas métricas/h) de una fuente de combustible como carbón en seis molinos, cada uno quema aproximadamente 49,9 toneladas/h (55 toneladas métricas/h) donde se introducen aproximadamente 37,85 litros/h (10 gal/h) de una solución acuosa al 50% en peso de bromuro de calcio (CaBr_2) en la cámara de combustión durante la combustión puede dar como resultado la adición de aproximadamente 125 ppm de bromo al carbón en función del peso seco. Por tanto, en diversas realizaciones, la concentración y/o la velocidad de alimentación del halógeno molecular o del precursor de halógeno se puede modificar en función de la velocidad de consumo de la fuente de combustible de modo que se pueden añadir hasta aproximadamente 400 ppm (base seca), hasta aproximadamente 500 ppm (base seca) o hasta aproximadamente 700 ppm (base seca) de bromo a la fuente de combustible. En algunas realizaciones, se pueden añadir aproximadamente de 50 ppm a aproximadamente 500 ppm (base seca), aproximadamente de 75 ppm a aproximadamente 400 ppm (base seca), aproximadamente de 100 ppm a aproximadamente 300 ppm (base seca), o aproximadamente de 125 ppm a aproximadamente 200 ppm (base seca) de bromo a la fuente de combustible.

En algunas realizaciones, los métodos y sistemas descritos en esta memoria se pueden utilizar en un horno de múltiples etapas que tenga, por ejemplo, unas cámaras de combustión primaria y secundaria, un horno rotatorio, cámaras de postcombustión y cualquier combinación de estas. En tales realizaciones, se puede introducir el halógeno molecular o el precursor de halógeno en forma sólida o líquida en una cualquiera o en cualquier combinación de las cámaras del horno. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el halógeno molecular o el precursor de halógeno se puede introducir en una cámara de combustión, y en otras realizaciones, el halógeno molecular o el precursor de halógeno se puede introducir en una combinación de cámaras de combustión. En otras realizaciones más, el halógeno molecular o el precursor de halógeno se puede introducir en una o más cámaras de combustión y en una corriente de escape después de la combustión.

En determinadas realizaciones, el precursor de halógeno se puede introducir en una o más cámaras de combustión y/o corriente de escape como una solución acuosa que se pulveriza o inyecta en la cámara o en la corriente de escape. Por ejemplo, en algunas realizaciones, se puede pulverizar o inyectar una solución acuosa de precursor de halógeno en una corriente de gas de combustión corriente abajo de una caldera de calor residual. En otras realizaciones más,

se puede introducir una solución acuosa del precursor de halógeno en una subcorriente recirculada como, por ejemplo, un gas de combustión recirculado, cenizas recirculadas o cenizas volantes recirculadas. Aunque las realizaciones no están limitadas por la zona en donde se introduce el halógeno molecular o el precursor de halógeno en la corriente de gas de escape, la temperatura en la zona de inyección debería ser suficientemente alta para permitir la disociación y/u oxidación del halógeno elemental a partir del precursor de halógeno. De acuerdo con la presente invención, la temperatura en la zona de inyección es mayor que aproximadamente 538°C (1.000 °F) y, en algunas realizaciones, mayor que aproximadamente 816°C (1.500 °F).

Sin desear ceñirse a la teoría, los halógenos del halógeno molecular o del precursor de halógeno se pueden oxidar con metales pesados liberados de la fuente de combustible cuando se quema en la cámara de combustión. En general, los metales pesados oxidados, como las especies de haluro de mercurio, son adsorbibles por sólidos alcalinos en la corriente de escape, como las cenizas volantes, las cenizas ácidas fundidas con álcali (*p. ej.*, cenizas bituminosas), sólidos secos de desulfuración de gases de combustión como óxido de calcio, hidróxido de calcio o carbonato de calcio, y eliminados de los gases de combustión mediante sistemas de control de metales pesados comúnmente usados como, por ejemplo, precipitadores electrostáticos, sistemas de desulfuración de gases de combustión húmedos, filtros de tela y cámaras de filtros. En ciertas realizaciones, los metales pesados oxidados pueden ser adsorbidos por carbón activado. Sin desear ceñirse a la teoría, la velocidad a la que una solución de un precursor de halógeno se puede reducir significativamente combinando la aplicación de una composición que contiene halógeno con la inyección de material sorbente en la corriente fluida de los gases de combustión incluso cuando el contenido de mercurio de la fuente de combustible es relativamente alto.

El carbón activado se puede usar en cualquier realización. En tales realizaciones, el carbón activado se puede obtener de cualquier fuente y se puede preparar a partir de una variedad de materiales de partida. Por ejemplo, los materiales adecuados para la producción de carbón activado incluyen, pero no se limitan a, carbones de varios rangos como antracita, semiantracita, carbones bituminosos, sub bituminosos, pardos o lignitos; cáscaras de frutos secos, como cáscara de coco; madera; vegetales como cáscara de arroz o paja; residuos o subproductos del procesamiento del petróleo; y materiales poliméricos naturales o sintéticos. El material carbonoso se puede convertir en adsorbentes de carbón mediante cualquier método químico o térmico convencional conocido en la técnica. Los adsorbentes conferirán inherentemente diferentes áreas superficiales y volúmenes de poros. Generalmente, por ejemplo, los lignitos pueden dar como resultado un carbón (activado) que tiene áreas de superficie de aproximadamente 500-600 m²/g y, las áreas típicas de carbones (activados) a base de fibra son de aproximadamente 1.200-1.400 m²/g. Ciertos carbones (activados) a base de madera pueden tener áreas en el intervalo de aproximadamente 200 m²/g, pero tienden a tener un volumen de poro muy grande.

También se puede confeccionar el área de superficie y el volumen de poro del carbón (activado) a base de carbón para permitir cierto control del área de superficie y los volúmenes de poros y las distribuciones del tamaño de los poros. En algunas realizaciones, el adsorbente de carbón activado puede tener una gran área de superficie medida mediante el método Brunauer-Emmett-Teller ("BET"), y puede tener un volumen de microporos sustancial. Como se usa en esta memoria, "volumen de microporos" es el volumen total de poros que tienen un diámetro inferior a aproximadamente 2 nm. En algunas realizaciones, los adsorbentes de carbón (activado) adecuados pueden tener áreas de superficie BET superiores a aproximadamente 10 m²/g o a aproximadamente 50 m²/g, superior a aproximadamente 200 m²/g, o más de aproximadamente 400 m²/g. En otras realizaciones, el adsorbente de carbón (activado) puede tener un volumen de microporos de más de aproximadamente 5 cm³/100 g, y en otras realizaciones más, el adsorbente puede tener un volumen de microporos mayor de aproximadamente 20 cm³/100 g.

Se han usado materiales sorbentes, como carbón activado, de varios tamaños para capturar metales pesados en los sistemas actualmente utilizados, y se puede usar material sorbente de cualquier tamaño en diversas realizaciones. El material sorbente puede tener generalmente un diámetro medio de partícula (DMP) de aproximadamente 0,1 µm a aproximadamente 100 µm, o el DMP puede ser de aproximadamente 1 µm a aproximadamente 30 µm. De acuerdo con la presente invención, el DMP del material sorbente es menor de aproximadamente 15 µm, y en algunas realizaciones particulares, el DMP puede ser de aproximadamente 2 µm a aproximadamente 10 µm, de aproximadamente 4 µm a aproximadamente 8 µm, o de aproximadamente 5 µm o de aproximadamente 6 µm.

En algunas realizaciones, el material sorbente se puede tratar con, por ejemplo, una sal que contiene halógeno. Por ejemplo, en diversas realizaciones, el material sorbente se puede impregnar con un bromo, por ejemplo, sumergiendo el material sorbente en una solución de bromuro de hidrógeno o en una corriente de gas de bromo elemental durante un tiempo suficiente para permitir que el bromo impregne el material sorbente. Se conocen y se usan en la técnica diversos métodos para impregnar el material sorbente y los tipos de material sorbente impregnado, y en las realizaciones se puede usar cualquier material sorbente de este tipo.

El material sorbente se puede inyectar en la corriente de escape en cualquier lugar a lo largo de la vía de convección corriente abajo de la cámara de combustión y antes de que se emita el escape desde la chimenea. El material sorbente de diversas realizaciones se puede inyectar generalmente corriente arriba de un sistema de control de metales pesados como, por ejemplo, precipitadores electrostáticos, sistemas de desulfuración de gases de combustión húmedos, filtros de tela y cámaras de filtros u otros medios de recolección de cenizas o cenizas volantes donde se puede recoger la materia particulada y corriente abajo de la cámara de combustión. En ciertas realizaciones, el material sorbente se puede inyectar en cualquier zona de la vía de convección que tenga una temperatura de menos de aproximadamente 371°C (700 °F),

menos de aproximadamente 260°C (500 °F), de menos de aproximadamente 204°C (400 °F) o de menos de aproximadamente 177°C (350 °F). Por ejemplo, en algunas realizaciones, el material sorbente se puede inyectar en una corriente de escape, ya sea corriente arriba o corriente abajo de un precalentador de aire (APH), y en otras realizaciones, el material sorbente se puede inyectar corriente arriba de un precalentador de aire (APH).

- 5 En algunas realizaciones, la velocidad de inyección del material sorbente puede depender de la velocidad de flujo de la corriente de escape. Por ejemplo, en una planta que tiene una velocidad de flujo del gas de escape (humo) de aproximadamente 56,634 metros cúbicos por minuto (2.000.000 pies cúbicos reales por minuto (acfm)) en la que se inyectan aproximadamente 45,4 kg/h (100 lb/h) de material sorbente en la corriente de escape en la red de conductos de la planta, la velocidad de adición del material sorbente es de aproximadamente 0,013 g/m³ (0,8 libras por millón de
- 10 pies cúbicos reales (lb/MMacf)). Por lo tanto, en varias realizaciones, la velocidad de inyección del material sorbente puede variar dependiendo de la velocidad de flujo del gas de escape en la red de conductos. En tales realizaciones, la velocidad de adición de material sorbente basada en la velocidad de flujo del gas de escape puede ser de hasta aproximadamente 0,064 g/m³ (4 lb/MMacf) o a aproximadamente 0,080 g/m³ (5 lb/MMacf). En otras realizaciones, la velocidad de adición del material sorbente basada en la velocidad de flujo del gas de escape puede ser de
- 15 aproximadamente 0,004 g/m³ (0,25 lb/MMacf) a aproximadamente 0,080 g/m³ (5 lb/MMacf), de aproximadamente 0,008 g/m³ (0,5 lb/MMacf) a aproximadamente 0,064 g/m³ (4,0 lb/MMacf), o de aproximadamente 0,012 g/m³ (0,75 lb/MMacf) a aproximadamente 0,048 g/m³ (3,0 lb/MMacf), y en realizaciones particulares, la velocidad de adición puede ser de aproximadamente 0,012 g/m³ (0,75 lb/MMacf) a aproximadamente 0,024 g/m³ (1,5 lb/MMacf).

- Las realizaciones particulares, con fines ejemplares, incluyen métodos y sistemas que incluyen la introducción de un precursor de halógeno, como bromuro de calcio, cloruro de calcio, bromuro de sodio o cloruro de sodio, en una cámara de combustión donde se quema una fuente de combustible que contiene metales pesados, y la inyección de material sorbente que tiene un DMP de menos de aproximadamente 15 µm en una corriente de escape corriente arriba de
- 20 sistemas de control de metales pesados y/o de partículas, como por ejemplo, precipitadores electrostáticos, sistemas de desulfuración de gases de combustión húmedos, filtros de tela y cámaras de filtros u otros medios de recolección de cenizas o cenizas volantes donde se pueda recolectar la materia particulada. En algunas de tales realizaciones, se pueden introducir menos de aproximadamente 38 litros/h (10 galones/hora) de un precursor de halógeno acuoso en la cámara de combustión, y se pueden inyectar menos de aproximadamente 45,4 kg/h (100 lb/h) de material sorbente en la corriente de escape. Como resultado de dicho tratamiento, la emisión de mercurio de la planta que emplea tales métodos y sistemas se puede reducir en más de aproximadamente un 80% y, en algunas realizaciones, en más de un 90%.

- 30 Otras realizaciones incluyen métodos para reducir las emisiones de mercurio de los gases de combustión en los que la proporción de halógeno a material sorbente proporcionada es de aproximadamente 1,54 a aproximadamente 4,6 moles de halógeno por kilogramo (de 0,7 a aproximadamente 4,6 moles de halógeno por libra) de carbón activado, y en algunas realizaciones, de aproximadamente 1,76 a aproximadamente 6,83 o de aproximadamente 2,65 a
- 35 aproximadamente 4,41 moles de halógeno por kilogramo (de 0,8 a aproximadamente 3,1 o de aproximadamente 1,2 a aproximadamente 2,0 moles de halógeno por libra) de carbón activado. De acuerdo con la presente invención, el material sorbente tiene un DMP de menos de aproximadamente 15 µm y, en determinadas realizaciones, el material sorbente puede tener un DMP de menos de aproximadamente 10 µm. En otras realizaciones más, el material sorbente puede tener un DMP de aproximadamente 6 µm o menos. El halógeno y el material sorbente se pueden proporcionar en cualquier lugar durante el proceso. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el halógeno se puede aplicar a la fuente
- 40 de combustible antes de la combustión, y en otras realizaciones, el halógeno se puede introducir en la cámara de combustión mientras se quema el combustible. En otras realizaciones más, el halógeno se puede introducir en la corriente de gas de combustión ya sea antes o después del material sorbente. De acuerdo con la presente invención, el halógeno se inyecta en la corriente de gas de combustión por separado con el carbón activado.

- Las centrales eléctricas de carbón que utilizan métodos convencionales para reducir las emisiones de mercurio en las que se introduce un precursor de halógeno en una cámara de combustión y no se inyecta material sorbente en el escape generalmente inyectan precursor de halógeno a una velocidad superior a 75,7 l/h (20 galones/hora) para
- 45 reducir de modo suficiente la emisión de mercurio. Las centrales eléctricas de carbón que utilizan la inyección de material sorbente sin introducir un precursor de halógeno durante la combustión pueden inyectar más de aproximadamente 113 kg/h (250 lb/h) de material sorbente en la corriente de escape para reducir de manera eficaz las emisiones de mercurio. En contraste, algunas realizaciones de la invención proporcionan una reducción de mercurio de más de aproximadamente 80% o más de 90% mientras que se usa menos de aproximadamente 37,85 l/h
- 50 (10 galones/hora) de un precursor de halógeno y menos de 45,4 kg/h (100 lb/h) de un carbón activado, y en realizaciones particulares, menos de 45,4 kg/h (100 lb/h) de material sorbente que tiene un DMP de menos de aproximadamente 15 µm. Se trata de una reducción espectacular y sorprendente en la cantidad de consumibles necesarios para reducir eficazmente las emisiones de mercurio por debajo de los niveles reglamentarios. Por lo tanto, tales realizaciones proporcionan ventajas económicas sustanciales sobre los métodos usados actualmente para reducir la emisión de mercurio, ya que simultáneamente reducen la cantidad de ceniza producida por las plantas que emplean la inyección de material sorbente y la cantidad de precursor de halógeno consumido.

- En algunas realizaciones, los niveles de mercurio se pueden monitorizar con equipo analítico convencional usando
- 60 métodos de detección y determinación estándar de la industria, y en tales realizaciones, la monitorización se puede realizar periódicamente, ya sea de forma manual o automática. Por ejemplo, las emisiones de mercurio se pueden monitorizar una vez por hora para asegurar el cumplimiento de las regulaciones gubernamentales y para ajustar la

velocidad de introducción de precursores halógenos en la cámara de combustión, la velocidad de inyección de material sorbente o ambas. El mercurio se puede monitorizar en la corriente convectiva en los lugares adecuados. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el mercurio liberado a la atmósfera se puede controlar y medir en el lado limpio de un sistema de control de partículas.

5 Ejemplos

Se ilustrarán varios aspectos de la presente invención con referencia a los siguientes ejemplos no limitantes.

Ejemplo 1

- 10 Para las pruebas se utilizó una central eléctrica de carbón equipada con un sistema para agregar bromuro de calcio al carbón antes de la cámara de combustión y lanzas para inyectar carbón activado en la red de conductos de la central eléctrica en varios lugares. El carbón quemado en esta instalación se sometió a pruebas periódicas para determinar el contenido de mercurio para garantizar la precisión de las pruebas de eliminación de mercurio. En la Tabla 1 se proporcionan varios carbones activados en polvo (CAPs) probados en esta instalación.

Tabla 1: Carbón activado en polvo (CAP)

Identificador	Tamaño de partícula (DMP)	Bromado
Estándar (Std.)	16 µm	No
Std. Br	16 µm	Si
CAP 6	6 µm	No
CAP 30	30 µm	No

- 15 Cada uno de los CAP descritos en la Tabla 1 se inyectó en la corriente de escape de la planta corriente abajo del APH a una velocidad de aproximadamente 45,4 kg/h (100 lb/h) o de aproximadamente 90,7 kg/h (200 lb/h) ya sea con o sin inyección de bromuro de calcio (CaBr_2) en la cámara de combustión. Los resultados se proporcionan en la Tabla 2 y se ilustran en la FIG. 2.

Tabla 2: Datos brutos de velocidad de inyección

Símbolo FIG. 2	Partícula	CaBr_2	Velocidad de inyección de CAP (kg/h (lb/h))	Eliminación (%)
■	Std.	0	45,4 (100)	48,2
	Std.	0	90,7 (200)	60,0
▲	Ninguno	1X	0	20,0
	Std.	1X	45,4 (100)	67,5
	Std.	1X	90,7 (200)	77,6
□	Ninguno	2X	0	33,4
	Std.	2X	90,7 (200)	83,3
Δ	Ninguno	3X	0	39,2
●	Ninguno	4X	0	37,1
	Std.	4X	90,7 (200)	88,0
○	Std.	8X	90,7 (200)	87,4
*	Std. Br	0	45,4 (100)	70,4
	Std. Br	0	90,7 (200)	82,7
	Std. Br	0	90,7 (200)	79,4
×	CAP 30	0	45,4 (100)	36,5
	CAP 30	0	200	48,4
◇	CAP 6	0	45,4 (100)	55,3
	CAP 6	0	90,7 (200)	67,6
◆	CAP 6	4X	45,4 (100)	87,4
	CAP 6	4X	90,7 (200)	92,7

Como se indica en la FIG. 1, el CaBr₂ solo, la velocidad de inyección de CAP de 0, dieron como resultado una eliminación de mercurio inferior al 50% en función del contenido de mercurio del carbón consumido. La adición de CAP a 45,4 kg/h (100 lb/h) (CAP 30, CAP 16, CAP 6) dio como resultado una reducción similar en la emisión de mercurio, aproximadamente del 50%, que varió ligeramente dependiendo del MPD del CAP. La combinación de la inyección de CaBr₂ en la cámara de combustión y la inyección del CAP en la corriente de escape (Std. + CaBr₂ 1x) mostró una reducción mejorada en la emisión de mercurio, al igual que la inyección del CAP bromado (Std. Br) en la corriente de escape. De manera notable, la combinación de la inyección de CaBr₂ en la cámara de combustión y la inyección de un CAP que tiene un DMP más pequeño en la corriente de escape (CAP 6 + CaBr₂ 4x) dio como resultado una reducción de casi el 90% en las emisiones de mercurio, lo que representa una reducción de casi un 20% más en las emisiones de mercurio que el CAP bromado (Std. Br) y un PAC con DMP más grande y CaBr₂ (Std. + CaBr₂ 1 x). De manera similar, cuando la velocidad de inyección del CAP se incrementó a 90,7 (200 lb/h), el PAC con DMP pequeño superó al CAP bromado (Std. Br) y el CAP con DMP más grande y varias velocidades de inyección de CaBr₂ (Std. CaBr₂ 1x; Std. CaBr₂ 2x; Std. CaBr₂ 3x; Std. CaBr₂ 4x; y Std. CaBr₂ 8x).

Ejemplo 2

Se llevaron a cabo más pruebas para determinar la velocidad de inyección de una solución acuosa determinada de CaBr₂ y CAP cuando el CAP se inyecta en la corriente de escape corriente arriba del APH (Inyección Post APH) y corriente abajo del APH (Inyección Pre APH) requeridas para obtener el 90% de eliminación del mercurio de las emisiones de la planta. Los resultados se proporcionan en las Tablas 3 y 4, respectivamente.

Tabla 3: Consumo al 90% de eliminación de mercurio

INYECCIÓN POST APH			
Identificador	CaBr ₂ (l/h (gal/h))	CAP (kg/h (lb/h))	#/MMacm (# / MMacf)
Std.	75,7 (20)	136 (300)	0,071 (2,5)
CAP 6	75,7 (20)	68 (150)	0,034 (1,2)
Std. Br		190,5 (420)	0,096 (3,4)

Tabla 4: Consumo al 90% de eliminación de mercurio

INYECCIÓN PRE APH			
Identificador	CaBr ₂ (l/h (gal/h))	CAP (kg/h (lb/h))	#/MMacm (# / MMacf)
Std.	68,14 (18)	56,7 (125)	0,028 (1,0)
CAP 6	22,7 (6)	27,2 (60)	0,014 (0,5)
Std. Br		145 (320)	0,074 (2,6)

Las tablas 3 y 4 muestran que una velocidad de inyección de CaBr₂ de 75,7 l/h (20 gal/h) y una velocidad de inyección de CAP de 68 kg/h (150 lb/h) es suficiente para eliminar el 90% del mercurio del carbón analizado cuando se inyecta un CAP con DMP pequeño (CAP 6) corriente abajo del APH, mientras que se requiere un PAC con DMP dos veces más grande (Std.) para lograr un resultado similar. Cuando el CAP se inyecta corriente arriba del APH, se necesitan 22,7 l/h (6 gal/h) de CaBr₂ y 27,2 kg/h (60 lb por hora) de CAP con DMP pequeño (CAP 6) para eliminar el 90% del mercurio de los gases de combustión en la misma planta, mientras que se requieren 68 l/h (18 gal/h) de CaBr₂ y 56,7 kg/h (125 lb/h) de CAP con DMP estándar (Std.) para lograr el mismo resultado. Estos datos demuestran que una disminución en el tamaño de las partículas del carbón (activado), especialmente por debajo de aproximadamente 12 µm o de aproximadamente 10 µm, crea su propio efecto sinérgico en el sentido de que, sorprendentemente, se necesita menos carbón (activado) y menos halógeno para el mismo nivel de eliminación de mercurio, especialmente a niveles aproximadamente o por encima del 90% de eliminación de mercurio. Los ahorros combinados tanto en halógeno como en sorbente dan como resultado una economía enormemente mejorada, así como menos impactos en el equilibrio de la planta, como la reducción de carbono en las cenizas volantes, lo que permite que una mayor cantidad de cenizas retenga el valor comercial como un aditivo de concreto.

REIVINDICACIONES

1. Un método para reducir las emisiones de metales pesados que comprende:

quemar un combustible que contiene metales pesados en una cámara de combustión;

introducir halógeno molecular o uno o más precursores de halógeno en la cámara de combustión o en una corriente de escape producida como un resultado de la quema del combustible que contiene metales pesados, en donde el halógeno o el precursor de halógeno se introduce en la cámara de combustión o en una corriente de escape que tiene una temperatura mayor de aproximadamente 538°C (1.000 °F); e

introducir por separado un material sorbente que tiene un diámetro medio de partícula de menos de 15 µm en una corriente de escape que se origina de la quema del combustible que contiene metales pesados en la cámara de combustión;

en donde el halógeno y el material sorbente se introducen en una proporción de aproximadamente 1,54 a aproximadamente 12,57 moles de halógeno por kilogramo (de aproximadamente 0,7 a aproximadamente 5,7 moles de halógeno por libra (lb)) de material sorbente.

2. El método de la reivindicación 1, en donde el halógeno y el material sorbente se introducen en una proporción de aproximadamente 1,76 a aproximadamente 6,83 moles de halógeno por kilogramo (de aproximadamente 0,8 a aproximadamente 3,1 moles de halógeno por libra (lb)) de material sorbente.

3. El método de la reivindicación 1, en donde el material sorbente es carbón activado.

4. El método de la reivindicación 1, en donde el uno o más precursores de halógeno se seleccionan del grupo que consiste en hipoclorito de calcio, hipobromito de calcio, hipoyodito de calcio, cloruro de calcio, bromuro de calcio, yoduro de calcio, cloruro de magnesio, bromuro de magnesio, yoduro de magnesio, cloruro de sodio, bromuro de sodio, yoduro de sodio, cloruro de amonio, bromuro de amonio, yoduro de amonio, tri-cloruro de potasio, tri-bromuro de potasio y tri-yoduro de potasio.

5. El método de la reivindicación 1, en donde el precursor de halógeno se proporciona en una solución acuosa, como un sólido o como un gas.

6. El método de la reivindicación 1, en donde el halógeno o el precursor de halógeno se introduce en la corriente de escape que tiene una temperatura superior a aproximadamente 538 °C (1.000 °F).

7. El método de la reivindicación 1, en donde el material sorbente tiene un diámetro medio de partícula (DMP) de aproximadamente 2 µm a 10 µm.

8. El método de la reivindicación 1, en donde el material sorbente se inyecta en la corriente de escape a una velocidad seleccionada del grupo que consiste en menos de aproximadamente 0,080 g/m³ (5 libras por millón cúbico real (lb/MMacf)), menos de aproximadamente 0,064 g/m³ (4 lb/MMacf), menos de aproximadamente 0,048 g/m³ (3 lb/MMacf) y menos de aproximadamente 0,016 g/m³ (1 lb/MMacf).

9. El método de la reivindicación 1, en donde el material sorbente se inyecta en la corriente de escape a una velocidad de menos de 45,4 kg/h (100 lb/h).

10. El método de la reivindicación 1, en donde el material sorbente se inyecta corriente arriba de un precalentador de aire (APH).

11. El método de la reivindicación 1, en donde el halógeno o el precursor de halógeno se introduce en la cámara de combustión o se aplica al combustible antes de que el combustible se introduzca en la cámara de combustión.

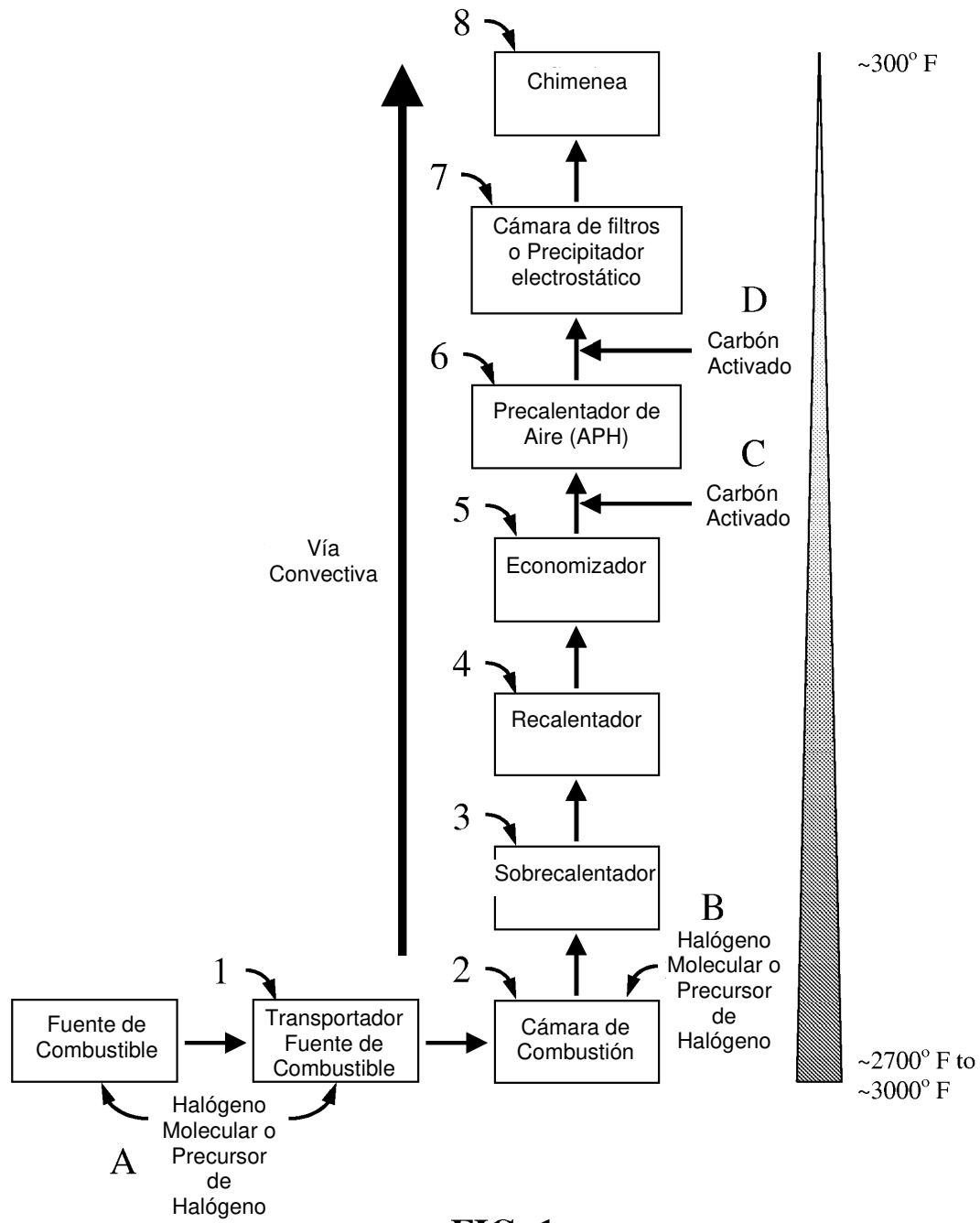


FIG. 1

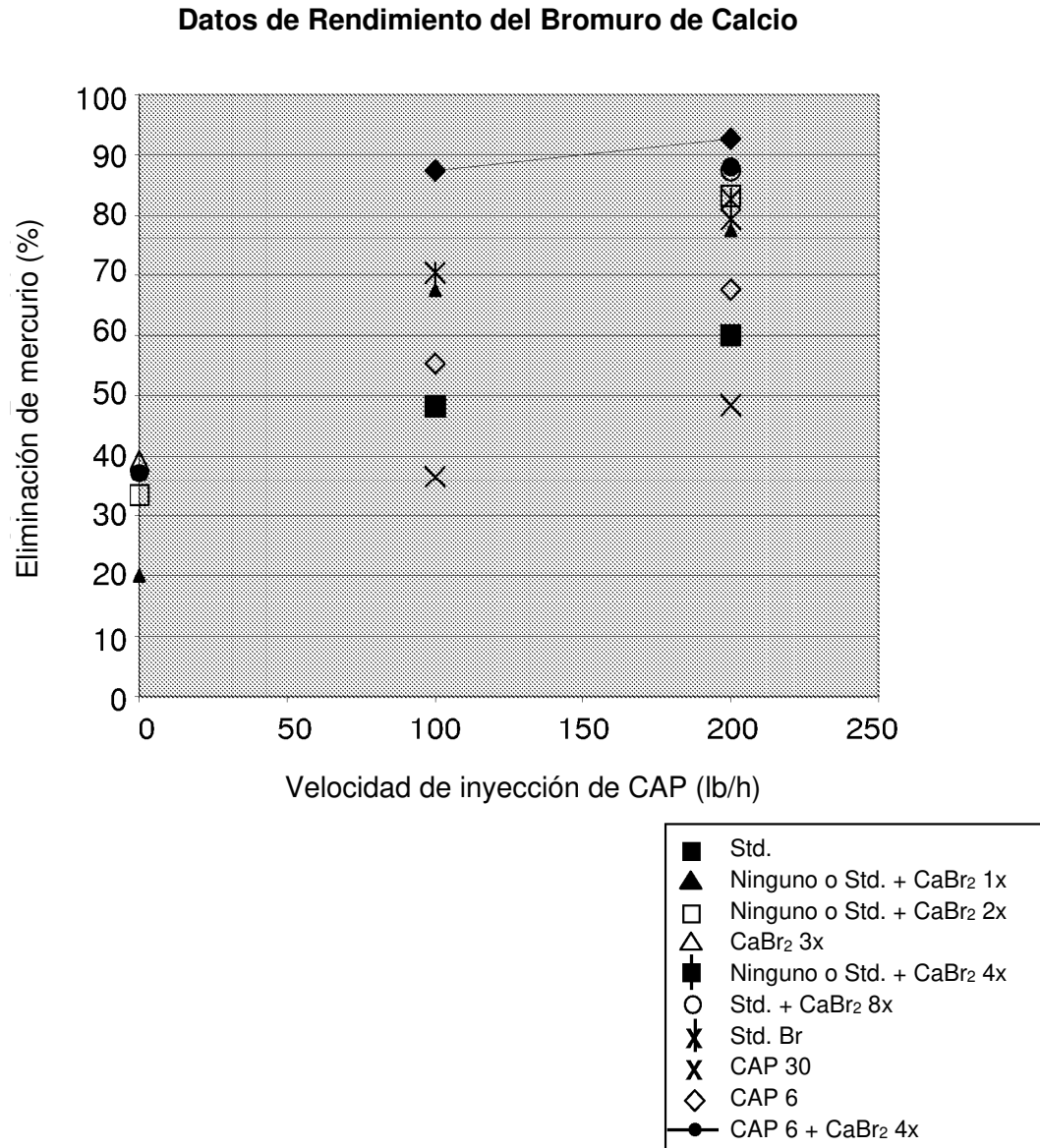


FIG. 2