

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 526 721**

51 Int. Cl.:

F23J 15/02 (2006.01)

B01J 20/20 (2006.01)

B01D 53/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2008 E 08831553 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.11.2014 EP 2203681**

54 Título: **Procedimientos y dispositivos para reducir contaminantes peligrosos del aire**

30 Prioridad:

19.09.2007 US 973632 P

18.09.2008 US 233144

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

14.01.2015

73 Titular/es:

C-QUEST TECHNOLOGIES INTERNATIONAL LLC

(100.0%)

2830 S.W. 43rd Street

Cape Coral FL 33914, US

72 Inventor/es:

COMRIE, DOUGLAS C.

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 526 721 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

Procedimientos y dispositivos para reducir contaminantes peligrosos del aire

5 CAMPO Y ANTECEDENTES

[0001] La presente divulgación se refiere a procesos de rebaja de emisiones y, en particular, a procesos y dispositivos que capturan los contaminantes del aire de corrientes efluentes de fuente de combustión.

10 **[0002]** Las afirmaciones en esta sección proporcionan simplemente información de antecedentes relacionados con la presente divulgación y no pueden constituir técnica anterior.

[0003] Muchos procesos industriales emplean una fuente de combustión durante la operación, incluyendo calderas, hornos de cocción, hornos e incineradoras. Dichas fuentes de combustión generan típicamente una
15 variedad de contaminantes peligrosos del aire, dependiendo de los tipos de combustibles quemados, los materiales procesados, el diseño del quemador y otros parámetros operativos. Los contaminantes peligrosos del aire (CPA) comunes liberados por fuentes de combustión incluyen óxidos de azufre, óxidos nitrosos, dióxido de carbono, monóxido de carbono, ácido clorhídrico, clorofluorocarburos, material particulado, compuestos orgánicos volátiles, compuestos en aerosol, mercurio, plomo, amoníaco, ozono y similares. Se usan diversos sistemas de control de la
20 contaminación del aire para reducir uno más de dichos contaminantes del aire después de que salgan de la fuente de combustión los gases efluentes o de combustión. Muchos de dichos dispositivos de control de la contaminación del aire requieren mucha energía, altas temperaturas, un gran capital y gastos de mantenimiento. El documento WO 2007/106372 da a conocer procedimientos y sistemas para capturar y/o reducir el dióxido de carbono presente en una corriente de fluido efluente industrial que contiene dióxido de carbono. Se pone en contacto con la corriente de
25 fluido efluente un material lavador que comprende un primer componente, un segundo componente (distinto del primer componente) y preferiblemente agua. El primer componente comprende una fuente de óxido de calcio y una fuente de iones de metal alcalino. El segundo componente comprende una escoria que tiene uno o más compuestos de silicato reactivos. El documento JP 52-050985 da a conocer un proceso en seco para la retirada simultánea de NO_x y SO_x usando escoria como adsorbente. El documento US 3.720.754 da a conocer un proceso para el
30 atrapamiento y recuperación del gas dióxido de azufre.

SUMARIO

[0004] La presente invención proporciona un procedimiento según la reivindicación 1 y un sistema según la
35 reivindicación 11. Se definen realizaciones adicionales de la invención en las reivindicaciones dependientes.

[0005] En diversos otros aspectos, la divulgación proporciona procedimientos de reducción de emisiones de óxidos de azufre y dióxido de carbono de corrientes efluentes generadas por fuentes de combustión estacionarias (por ejemplo, calderas, incineradoras), hornos de cemento, hornos de cal, hornos de hierro y hornos de acero. De
40 esta manera, diversos aspectos de la divulgación proporcionan un medio eficaz para retirar emisiones de óxidos de azufre y dióxido de carbono, controlando por tanto las emisiones de gases de efecto invernadero mientras se recicla adicionalmente al menos un subproducto industrial, y preferiblemente múltiples subproductos, formando un producto útil

45 **[0006]** Resultarán evidentes áreas de aplicabilidad adicionales a partir de la descripción proporcionada en la presente memoria. Debería entenderse que la descripción y ejemplos específicos se pretenden solo con fines de ilustración, y no pretenden limitar el alcance de la presente divulgación.

DIBUJOS

50

[0007] Los dibujos descritos en la presente memoria son solo con fines de ilustración y no se pretende que limiten el alcance de la presente divulgación en modo alguno.

La Figura 1 es una ilustración esquemática de una realización de la presente divulgación que muestra un sistema de
55 rebaja de emisiones con un reactor de lecho empacutado;

la Figura 2 es una ilustración esquemática de la realización mostrada en la Figura 1, que muestra una vista en sección parcial de la cámara del reactor interno que tiene una pluralidad de partículas sólidas dispuestas en un lecho;

la Figura 3 es un diagrama de flujo de proceso ejemplar para un procedimiento de reducción de uno o más contaminantes peligrosos del aire de una fuente de combustión con un sistema de rebaja de la contaminación según ciertas realizaciones de la divulgación, que se trata entonces con un dispositivo de control de la contaminación del
5 aire;

la Figura 4 es un diagrama de flujo de proceso ejemplar para un procedimiento de reducción de uno o más contaminantes peligrosos del aire de una fuente de combustión, que se trata en primer lugar con un dispositivo de control de la contaminación del aire y se trata entonces con un sistema de rebaja de la contaminación según ciertas
10 realizaciones de la divulgación; y

la Figura 5 es una ilustración esquemática de una realización de la presente divulgación que muestra un sistema de rebaja de emisiones con un reactor de lecho empacado que tiene una cámara activa y una cámara inactiva.

15 DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0008] En diversos aspectos, las enseñanzas de la divulgación proporcionan un proceso para reducir o capturar uno o más contaminantes gaseosos del aire presentes en una corriente de fluido efluente generada por una fuente de combustión. En ciertas realizaciones, la corriente de fluido comprende un gas y/o vapor, pero puede tener
20 también sólidos y/o líquidos arrastrados, tales como partículas, gotitas líquidas y/o aerosoles arrastrados. En diversos aspectos, la corriente de fluido es una corriente efluente o una corriente de escape generada en una fuente de combustión asociada a un proceso industrial. La presente divulgación proporciona un material sólido que retira eficazmente uno o más contaminantes de la corriente efluente en fase gaseosa. El material sólido se forma mezclando un componente de escoria con un componente aglutinante. En ciertos aspectos, se mezcla
25 adicionalmente agua con el componente de escoria y el componente aglutinante, formando el material sólido en forma peletizada. En diversos aspectos, el material sólido está en forma de una pluralidad de partículas sólidas o aglomerados. El mezclado del componente de escoria, los componentes aglutinantes y opcionalmente agua forma una partícula aglomerada que, en ciertos aspectos, es amorfa y porosa. Se pasa la corriente efluente a través de un reactor que contiene las partículas sólidas y el contacto entre la corriente efluente y el material sólido retira uno o
30 más contaminantes del aire. En ciertos aspectos, el uno o más contaminantes que son retirados se seleccionan del grupo consistente en: óxidos de azufre (SO_x) (incluyendo SO₂, SO, SO₃ y similares), óxidos de nitrógeno (NO_x) (incluyendo NO, NO₂ y similares) y dióxido de carbono (CO₂). En ciertos aspectos, las partículas sólidas de los sistemas de rebaja de la contaminación de la presente divulgación retiran adicionalmente contaminantes del aire
35 adicionales tales como monóxido de carbono (CO), ácido clorhídrico (HCl), clorofluorocarburos (CFC), material particulado (MP), compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos en aerosol, mercurio (Hg), plomo (Pb), amoníaco (NH₃), ozono (O₃) y combinaciones y equivalentes de los mismos.

[0009] Por tanto, de acuerdo con la presente divulgación, se proporciona un material sólido particulado para uso en procedimientos de reducción de la cantidad de contaminante presente en la corriente de fluido efluente que
40 contiene contaminante. El material particulado sólido comprende un componente de escoria y un componente aglutinante. El material particulado sólido se forma mezclando el componente de escoria con el componente aglutinante. El componente de escoria es distinto del componente aglutinante y proporciona una fuente de silicatos reactivos. En ciertos aspectos, el componente de escoria y el componente aglutinante se mezclan adicionalmente con agua y se secan entonces sustancialmente hasta una forma sólida antes del contacto con la corriente efluente.
45 Se entiende por "sustancialmente seco" que el material sólido tiene un contenido de agua de menos de aproximadamente 3 % en peso del material total, opcionalmente menos de aproximadamente un 1 % en peso y, en ciertos aspectos, menos de aproximadamente 0,5 % en peso. En aún otras realizaciones, se forma un material particulado sólido mezclando un componente adicional, a saber un segundo componente que comprende tanto una fuente de iones alcalinos como una fuente de óxido de calcio. En ciertos aspectos, el material particulado sólido
50 comprende opcionalmente un tercer componente que es una fuente de óxido de calcio (CaO) y una fuente de iones de metal alcalino.

Componente de escoria

[0010] Los materiales de escoria son subproductos industriales de la fabricación de metal. En diversas realizaciones, el componente de escoria comprende un silicato reactivo. Los silicatos están típicamente en forma tetraédrica que puede estar unida por cadenas, dobles cadenas, láminas, redes tridimensionales y otras formas de polimerización ("geopolímero"). Un silicato comprende átomos de silicio y oxígeno con uno o más metales y/o hidrógeno. Generalmente, el silicio y el oxígeno están en forma de Si_xO_y, en la que x es generalmente 1 o 2 e y

puede oscilar de 2 a 7 (concretamente, SiO_2 , SiO_3 , SiO_4 y Si_2O_7). Aunque muchos silicatos son insolubles o estables en agua, se cree que las condiciones básicas y las temperaturas aumentadas facilitan una mayor solubilidad y/o reactividad de ciertos compuestos de silicato en presencia de agua. La solubilidad y/o reactividad en agua del compuesto de silicato en presencia de agua depende de numerosos factores, incluyendo, los cationes con que está
5 complejado el anión silicato (por ejemplo, elementos iónicos metálicos alcalinos del grupo 1 y NH_4^+ tienden a formar silicatos hidrosolubles).

[0011] Ciertas especies de silicato son más reactivas con especies iónicas y pueden exhibir una mayor hidrosolubilidad, con lo que se cree que dichos silicatos ionizan formando iones SiO^- . Por ejemplo, los silicatos
10 pueden formar diversas estructuras cristalinas que oscilan desde fases cristalinas y altamente ordenadas (por ejemplo, cuarzo) a fases criptocristalinas (por ejemplo, estructuras cristalinas extremadamente finas como calcedonia) hasta fases amorfas o estructuras vítreas no cristalinas (por ejemplo, ópalo). Se cree que las estructuras de red de silicato permiten un mayor ataque iónico y degradación de la red de silicato. Por tanto, las fases altamente ordenadas y bien cristalizadas son estables y no reactivas, así como las retículas criptocristalinas y
15 amorfas de silicato son susceptibles de ataque debido a estructuras de red desordenada y abierta, por ello dichos silicatos son reactivos.

[0012] De acuerdo con diversas realizaciones de la divulgación, el componente de escoria del material particulado sólido comprende silicatos reactivos. Aún sin limitarse a ninguna teoría por la que las presentes enseñanzas funcionan, se cree que ciertas fases cristalinas de silicato de calcio (2 $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ expresado típicamente de forma abreviada como C_2S) y silicato de tricalcio (3 $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ expresado típicamente de forma abreviada como C_3S), en particular las fases cristalinas $\gamma\text{-C}_2\text{S}$, $\beta\text{-C}_2\text{S}$ y C_3S , son silicatos reactivos que pueden formarse en materiales de escoria y por tanto reaccionan adecuadamente con ciertos contaminantes. Por ejemplo,
20 en presencia de agua, dichos silicatos reactivos reaccionan con dióxido de carbono. Se entiende por compuesto silicato reactivo que más de un 10 % de los compuestos de silicato totales presentes en un material reaccionarán con dióxido de carbono en presencia de agua a 25 °C y presión ambiental a un pH mayor o igual a aproximadamente 9.

[0013] Las temperaturas aumentadas aumentan generalmente la solubilidad de los compuestos de silicato en presencia de agua. De acuerdo con diversas realizaciones de la divulgación, se prefiere que el componente de escoria comprenda una cantidad mayor o igual a aproximadamente 5 % de silicatos reactivos, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 10 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 15 % de silicatos reactivos en peso de base seca.

[0014] Diversos materiales de escoria comprenden silicatos de calcio. Preferiblemente, al menos una parte de estos silicatos de calcio son reactivos con óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono y/u óxido de calcio en presencia de agua en los diversos procedimientos de la divulgación.

[0015] A modo de antecedentes, las escorias son generalmente compuestos subproductos generados por la fabricación y procesamiento de metal. El término "escoria" engloba una amplia variedad de materiales subproductos, incluyendo típicamente una gran parte de subproductos no metálicos de la fabricación y procesamiento de metales ferrosos y/o acero. Generalmente, los agentes escorificantes, o materiales fundentes, se añaden a los hornos para descargar las impurezas de la mena de hierro fundido, restos de acero, carga de alimentación hierro y/o acero durante el procesamiento. Son materiales fundentes típicos caliza (CaCO_3) y/o dolomita ($\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$). Se forma escoria fundida en forma de silicato fundido que flota hasta la parte superior del horno, donde se enfría formando silicatos y óxidos complejos. La composición de la escoria depende del metal que se esté procesando en el horno y a menudo contiene sulfuros metálicos y átomos de metal en forma elemental. La composición y propiedades de la escoria varían también basándose en el tipo de horno y el tratamiento postprocesamiento, que puede afectar no solo a la composición química, sino a la cristalinidad, desarrollo de fase y morfología de superficie, que pueden repercutir
45 en la reactividad. Por ejemplo, como se discute anteriormente, se prefiere que se formen una o más fases de silicato reactivo en la escoria, tales como $\gamma\text{-C}_2\text{S}$, $\beta\text{-C}_2\text{S}$ y C_3S . Adicionalmente, el tamaño de partícula, porosidad y área superficial de la escoria repercuten en la reactividad, ya que se cree que los materiales de menor tamaño de partícula, mayor porosidad y por ello mayor área superficial pueden posibilitar una mayor exposición a contaminantes y agua, facilitando una mayor reacción con los contaminantes del aire diana.

[0016] Los altos hornos procesan mena de hierro formando arrabio refinado. Las escorias de alto horno se forman generalmente de tres tipos principales: enfriadas con aire, granuladas y pelletizadas (o expandidas). La escoria de alto horno enfriada con aire se forma permitiendo que la escoria fundida se enfríe relativamente despacio en condiciones ambientales, mientras que el enfriamiento final puede acelerarse con un proceso de enfriamiento tal

como pulverización con agua. La escoria granulada se forma inactivando la escoria fundida en agua, formando por tanto partículas de vidrio pequeñas de estructura desordenada. Dicha escoria granulada a menudo se muele adicionalmente, potenciando así las propiedades cementantes del material. La escoria peletizada o expandida se enfría mediante un chorro de agua, lo que conduce a una rápida generación de vapor que desarrolla extensas estructuras vesiculares en el material.

[0017] Las escorias de acero se forman durante el procesamiento adicional de arrabio y otros materiales de acero en hornos de preparación de acero. Los hornos de acero típicos incluyen hornos de proceso básico de oxígeno (HBO), hornos de reverbero (HR) y hornos de arco eléctrico (HAE). La mayoría del acero se prepara ahora en plantas integradas de acero que usan una versión del proceso básico de oxígeno o en plantas de acero especiales que usan un proceso de horno de arco eléctrico. En un proceso básico de oxígeno ejemplar, se cargan metal, restos y fundentes de alto horno líquidos calientes en un convertidor (horno). Se baja una lanza al convertidor y se inyecta oxígeno a alta presión. El oxígeno se combina con las impurezas de la carga y las retira. Estas impurezas consisten en carbono en forma de monóxido de carbono gaseoso y silicio, fósforo y algo de hierro en forma de óxidos líquidos, que se combinan con caliza y/o dolomita formando la escoria de acero. Al final de la operación de refinado, se vierte el acero líquido en una cuchara mientras se retiene la escoria de acero en el recipiente y se vacía posteriormente en un depósito de escoria separado.

[0018] Pueden producirse muchas durezas de acero diferentes y las propiedades de la escoria de acero pueden cambiar significativamente con cada dureza. Las durezas de acero pueden clasificarse como alta, media y baja, dependiendo del contenido de carbono del acero. Los aceros de mayor dureza tienen a menudo un mayor contenido de carbono. Para reducir el contenido de carbono del acero, se requieren mayores niveles de oxígeno en el proceso de preparación de acero. Esto requiere también la adición de niveles aumentados de material fundente para la retirada de impurezas del acero y una formación de escoria aumentada. Las denominadas "escorias de carbono" tienen un contenido de carbono por encima del nivel de impureza. Por ejemplo, el contenido de carbono representativo en una escoria de carbono incluye aquellos mayores o iguales a aproximadamente 0,01 % en peso, opcionalmente mayores o iguales a aproximadamente 0,1 % en peso, opcionalmente mayores o iguales a aproximadamente 0,5 % en peso u opcionalmente mayores de aproximadamente 1 % en peso.

[0019] La escoria de horno de acero contiene típicamente cantidades mucho mayores de silicato de calcio y óxido de calcio. Existen varios tipos diferentes de escoria de acero producida durante el proceso de preparación de acero, incluyendo escoria de horno (o cubilote), escoria de rascador, escorias sintéticas (o de cuchara) y escoria de foso (o limpieza). Se hace referencia a la escoria de acero producida durante la etapa primaria de producción de acero como escoria de horno o escoria de cubilote. Después de vaciar desde el horno, se transfiere el acero fundido a una cuchara para refinar adicionalmente retirando las impurezas adicionales aún contenidas en el acero, lo que genera escorias de acero adicionales al añadir de nuevo fundentes a la cuchara para fusión. Estas escorias se combinan con cualquier sobrante de escoria de horno y son de ayuda en la absorción de productos de desoxidación (inclusiones), aislamiento térmico y protección del material refractario de la cuchara. Se hace referencia generalmente a las escorias de acero producidas en esta etapa de preparación del acero como escorias de rascador y cuchara. La escoria de foso y escoria de limpieza son otros tipos de escoria encontrados comúnmente en operaciones de preparación de acero. Incluyen habitualmente la escoria de acero que cae al suelo de la planta en diversas etapas de operación, o escoria que se retira de la cuchara después del vaciado. La etapa de refinado de cuchara implica habitualmente la adición de material comparativamente muy fundente y las propiedades de estas escorias sintéticas son a menudo significativamente diferentes de las de la escoria de horno. Dichas escorias son a menudo ricas en óxido de calcio y silicatos y son bien adecuadas como material para componente de escoria del material particulado sólido, particularmente ya que estas escorias sintéticas no pueden reciclarse generalmente como agregados debido a la expansión *in situ*.

[0020] Debería observarse que el componente de escoria puede comprender una combinación de escorias originarias de diferentes localizaciones del horno y/o procesamiento o puede incluir combinaciones de escorias de diferentes hornos o procesos. El término "horno" engloba tanto convertidores de mena de hierro como de acero. Generalmente, escorias de alto horno hace referencia a aquellas generadas en hornos de mena de hierro y las escorias de acero son aquellas generadas por cualquier proceso de formación o refinado de acero, incluyendo escorias de acero inoxidable, como se describirá con más detalle a continuación. Dependiendo de la localización en la que se originen en el proceso y el posterior procesamiento, muchas de las escorias tienen diferentes distribuciones de tamaño de partícula, diferente mineralogía y formación de cristal. Estas escorias pueden molerse adicionalmente, consiguiendo las distribuciones de tamaño de partícula y/o finura (área superficial) deseables.

[0021] Las escorias ejemplares comprenden compuestos que contienen calcio, compuestos que contienen

silicio, compuestos que contienen aluminio, compuestos que contienen magnesio, compuestos que contienen hierro, compuestos que contienen manganeso y/o compuestos que contienen azufre. En ciertas realizaciones de la divulgación, el(los) material(es) del componente de escoria se selecciona(n) para que comprenda(n) óxido de calcio de aproximadamente 25 a aproximadamente 60 %, opcionalmente de aproximadamente 30 a aproximadamente 50 %
 5 %, y opcionalmente de aproximadamente 30 a 45 % en peso. Según la invención, el componente de escoria comprende dióxido de silicio (SiO₂) a una cantidad mayor o igual a aproximadamente 25 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 30 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 35 % en peso. Debería observarse que la cantidad de SiO₂ presente en la composición es reflejo del análisis de óxido sencillo. Como se usan en la presente memoria, todos los porcentajes están basados en peso, a menos que se indique otra
 10 cosa. Debería observarse que las composiciones químicas de los diversos materiales descritos en la presente memoria se expresan en términos de óxidos sencillos calculados a partir de análisis elemental, determinado típicamente por técnicas de fluorescencia de rayos X. Aunque los diversos óxidos sencillos pueden estar, y a menudo están, presentes en compuestos más complejos en el material, el análisis de óxido es un procedimiento útil para expresar la concentración de compuestos de interés en las composiciones respectivas. Un análisis de óxido
 15 sencillo no refleja necesariamente la concentración de silicatos reactivos, que pueden formar solo una parte de la cantidad total de SiO₂ presente en el material.

[0022] En ciertas realizaciones, el componente de escoria comprende adicionalmente óxido de calcio (CaO) a una cantidad mayor o igual a aproximadamente 25 %; opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 30 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 35 % en peso. Como se discute anteriormente, el óxido de calcio y óxido de silicio están típicamente presentes en forma de silicatos de calcio, sin embargo, basándose en el análisis de óxido sencillo global, están presentes a cantidades respectivas mayores o iguales a aproximadamente 25 % en peso. En ciertas realizaciones, el componente de escoria comprende uno o más ingredientes activos seleccionados del grupo de CaSiO₃, CaO y combinaciones de los mismos, siendo la cantidad total de ingrediente
 20 activo presente en el componente de escoria de aproximadamente 35 a aproximadamente 90 % en peso.

[0023] En ciertas realizaciones, el componente de escoria que comprende una escoria tiene una composición como se expone en la Tabla I, excluyendo impurezas y diluyentes.

30

Tabla I

Óxido/metal	Peso aproximado %
Óxido de calcio (CaO)	35-55
Sílice (SiO ₂)	25-35
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0,1-10
Óxido de hierro (FeO) (FeO 70-80 % y Fe ₂ O ₃ 20-30 %)	0,1-40
Óxido de magnesio (MgO)	3-10
Óxido de manganeso (MnO)	3-10
Sulfato (SO ₃)	0,01-15
Fosfato (P ₂ O ₅)	0,01-1
Hierro metálico	0,5-10

[0024] Es un ejemplo de escoria adecuada que tiene generalmente propiedades cementantes y sílice reactiva la escoria de alto horno granulada molida (EAHGM). La velocidad de enfriamiento de la escoria típicamente es suficientemente baja para que se formen diversos compuestos cristalinos, incluyendo compuestos predominantes
 35 tales como silicato de dicalcio, silicato de tricalcio, ferrita de dicalcio, meriwinita, aluminato de calcio, óxido de calcio-magnesio-hierro, cal libre y magnesia libre.

[0025] Las escorias de acero inoxidable son materiales particularmente adecuados para uso como componente de escoria, ya que comprenden típicamente concentraciones relativamente altas de cal libre y/o magnesia libre y concentraciones relativamente altas de silicatos, particularmente la forma cristalina de silicato reactivo γ -C₂S. Durante el desarrollo del cristal y la transición de fases, se cree que esta fase γ -C₂S causa inestabilidad en la red cristalina C₂S, lo que causa la fragmentación hasta polvo fino debido a autopulverización.

[0026] Como se aprecia por los especialistas en la materia, pueden añadirse cantidades variables de elementos, tales como níquel, cromo, molibdeno y manganeso, al hierro refinado para formar acero: cuanto mayores son las cantidades de estos elementos que se incluyen, mayor es la dureza del acero. Estos elementos tienden a incorporarse a los compuestos presentes en la escoria que se usa para refinar los metales. En general, el acero inoxidable contiene al menos aproximadamente 10,5 % de cromo. El acero austenítico típico tiene cromo a una

cantidad mayor o igual a aproximadamente 16 % y níquel a una cantidad mayor o igual a aproximadamente 8 %. El acero inoxidable comprende carbono hasta aproximadamente 1,7 % en peso. Las durezas mayores de acero inoxidable tienen habitualmente menores contenidos de carbono y pueden contener molibdeno y manganeso, entre otros. A modo de ejemplo, un acero austenítico de baja dureza 304 tiene carbono (C) a una cantidad menor o igual a 0,08 %, cromo (Cr) a entre aproximadamente 17 y 19,5 %, níquel (Ni) a aproximadamente 8 a 10,5 %, manganeso (Mn) a una cantidad menor o igual a aproximadamente 2 %, sin molibdeno (Mo). Otro acero de alta dureza ejemplar es 316L, en que está presente carbono (C) a una cantidad menor o igual a aproximadamente 0,03 %, cromo (Cr) a aproximadamente 17 %, níquel (Ni) a aproximadamente 9 %, manganeso (Mn) a aproximadamente 2 %, y molibdeno (Mo) a aproximadamente 2,5 %. "L" designa un bajo contenido de carbono. Es un acero inoxidable austenítico de alta dureza el de dureza 317LMN, que tiene carbono (C) a una cantidad menor o igual a aproximadamente un 0,03 %, cromo (Cr) a entre aproximadamente 16,5 y 18,5 %, níquel (Ni) a aproximadamente 13,5 a 17,5 %, manganeso (Mn) a aproximadamente 1 a 2 % y molibdeno (Mo) a aproximadamente 4 a 5 %. En la dureza 317LMN, las denominaciones "M" y "N" indican que la composición contiene niveles aumentados de molibdeno y níquel, respectivamente. Las escorias de acero inoxidable tienden a incorporar estos diversos elementos y comprenden adicionalmente una alta cantidad de silicatos reactivos y/o hidrosolubles, que son altamente deseables para formar materiales particulados sólidos en diversas realizaciones de la divulgación.

[0027] El componente de escoria puede comprender adicionalmente otras fuentes de silicatos reactivos, además de la escoria descrita anteriormente, a condición de que contribuyan a los ingredientes activos deseables y/o necesarios discutidos anteriormente. Otros ejemplos adecuados incluyen polvo de alto horno (cubilote) recogido de dispositivos de control de la contaminación del aire unidos a altos hornos, tales como torta de filtro de supresor de cubilote. Otra fuente de subproductos industriales adecuados es la ceniza de lodo de destintado de papel. Pueden ser factibles muchos subproductos fabricados/de procesos industriales como fuente de silicatos reactivos de material particulado sólido de acuerdo con la presente divulgación. Muchos de estos subproductos bien conocidos comprenden alúmina y/o sílice, también. Se contemplan combinaciones de cualquiera de los productos fabricados y/o subproductos industriales ejemplares para uso en ciertas realizaciones de la divulgación.

Componentes aglutinantes

[0028] En diversas realizaciones, se mezcla un componente aglutinante con el componente de escoria, formando una forma sólida particulada aglomerada. En diversos aspectos, dicho componente aglutinante es capaz de mantener generalmente el componente de escoria en forma de material particulado sólido que tiene un tamaño predeterminado, de modo que el material particulado soporte tanto el transporte y el manejo como el uso en un dispositivo de rebaja de la contaminación industrial. Como se describe con más detalle a continuación, en diversas realizaciones los materiales particulados sólidos que tienen componentes de escoria y aglutinante se disponen en un reactor de lecho empaquetado. Se introduce una corriente efluente en el reactor de lecho empaquetado que fluye a través de un lecho de material particulado sólido, donde se retiran uno o más contaminantes del aire por contacto con el material sólido. Se contemplan combinaciones de cualquiera de los componentes aglutinantes ejemplares para uso en ciertas realizaciones de la divulgación. En diversos aspectos, el componente aglutinante comprende un material seleccionado del grupo consistente en cemento Portland común, clínker de cemento Portland, goma guar, almidón, melaza y combinaciones de los mismos.

[0029] En ciertos aspectos, el material particulado sólido se forma mezclando el componente aglutinante con el componente de escoria a una relación de componente de escoria a componente aglutinante de aproximadamente 6:1 a aproximadamente 99:1 en base seca. Según la invención, el material particulado sólido se forma mezclando de aproximadamente 3 a aproximadamente 20 % en peso de componente aglutinante de la mezcla total en base seca, opcionalmente de aproximadamente 3 a aproximadamente 10 % en peso de componente aglutinante, y opcionalmente de aproximadamente 4 a aproximadamente 6 % en peso de componente aglutinante de la mezcla total en base seca. Adicionalmente, en ciertos aspectos, se mezclan el componente aglutinante y el componente de escoria en presencia de agua formando las partículas de material sólido, por ejemplo, pueden mezclarse los componentes aglutinantes y de escoria con aproximadamente 5 a 30 % en peso de agua en base seca, opcionalmente con aproximadamente 7 a aproximadamente 20 % en agua y, en algunos aspectos, con aproximadamente 10 a aproximadamente 15 % en peso de agua en base seca. En ciertos aspectos, se mezclan el componente aglutinante y el componente de escoria homogéneamente y/o se mezclan concienzudamente, formando el material particulado sólido.

Cemento Portland

[0030] En ciertas realizaciones de la presente divulgación, se selecciona el componente aglutinante para que

sea una composición cementante hidráulica. Por tanto, en ciertos aspectos, el componente aglutinante comprende un componente de cemento Portland, incluyendo a modo de ejemplo cemento Portland ordinario (CPO), cementos Portland modificados, cementos hidráulicos combinados y clínker de cemento. Se entiende por "cemento hidráulico" que el cemento fraguará y se endurecerá mediante hidratación de los componentes minerales en el cemento, incluso cuando se sumerja en agua. El "cemento Portland" es bien conocido en la materia y puede fabricarse en un horno de cocción de proceso húmedo o seco. Aunque los procesos húmedo y seco difieren, ambos procesos calientan el material bruto por etapas. Los materiales brutos de fabricación de cemento comprenden calcio, sílice, hierro y alúmina en proporciones variables, y habitualmente incluyen caliza así como una variedad de otros materiales tales como arcilla, arena o esquisto, por ejemplo.

10

[0031] La primera etapa de fabricación de cemento es una etapa de precalentamiento que extrae cualquier humedad de los materiales brutos, retira el agua de hidratación y eleva la temperatura del material hasta aproximadamente 800 °C. La segunda etapa es la etapa de calcinación, que generalmente ocurre a aproximadamente 1100 °C, donde la caliza (CaCO₃) se convierte en cal (CaO) extrayendo el dióxido de carbono (CO₂) en una reacción de calcinación. Se calientan entonces los materiales brutos a una temperatura máxima de entre aproximadamente 1400 y 1650 °C en la zona de combustión, donde se funden sustancialmente y fluyen, formando por tanto compuestos inorgánicos tales como silicato de dicalcio (C₂S o 2CaO·SiO₂), silicato de tricalcio (C₃S o 3CaO·SiO₂), aluminato de tricalcio (C₃A o CaO·Al₂O₃) y aluminoferrita de tetracalcio (C₄AF o 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃). Se enfría el material bruto fundido hasta solidificar en un producto intermedio en grumos pequeños conocido como "clínker", que se retira posteriormente del horno de cocción. Se muele entonces finamente el clínker de cemento y se mezcla con los demás aditivos (tales como un retardante del fraguado, yeso), formando cemento Portland ordinario. El ensayo C150 internacional de la ASTM, denominado "Especificación normalizada para cemento Portland" (Standard Specification for Portland Cement) proporciona 8 tipos de cemento Portland ordinario para diferentes aplicaciones, a saber: los tipos I, IA, II, IIA, III, IIIA, IV y V. En ciertos aspectos, el componente aglutinante comprende cemento Portland seleccionado para que sea de tipo I, IA, III y/o IIIA.

[0032] Generalmente, un cemento Portland comprende de aproximadamente 35 a aproximadamente 65 % de C₃S, de aproximadamente 15 a aproximadamente 40 % de C₂S, de aproximadamente 0 a aproximadamente 15 % de C₃A y de aproximadamente 6 a aproximadamente 20 % de C₄AF, aunque estos componentes activos hidráulicos pueden variar basándose en el tipo de cemento. Un análisis de óxido metálico sencillo típico de cemento Portland de tipo I ordinario contiene aproximadamente 64 % de CaO, 21 % de SiO₂, 5 % de Al₂O₃ y 3 % de Fe₂O₃, con cantidades menores de otros compuestos tales como óxidos de magnesio, azufre, potasio, sodio y similares. Un análisis de óxido sencillo calculado a partir del análisis elemental es convencional en la materia, sin embargo, como se aprecia por los especialistas en la materia, los diversos compuestos activos pueden estar presentes realmente en la fuente en forma de moléculas más complejas, por ejemplo, como C₂S, C₃S, C₃AF y C₃A.

[0033] En ciertas realizaciones, el componente aglutinante comprende clínker de cemento Portland que tiene una composición con componentes mayoritarios y parámetros como se exponen en la Tabla II, excluyendo impurezas y diluyentes.

40

Tabla II

Oxido/metale	Peso aproximado %
Óxido de calcio (CaO)	59-68
Sílice (SiO ₂)	18-27
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	2-7
Óxido de hierro (FeO) (70-80 % de FeO y 20-30 % de Fe ₂ O ₃)	0,2-6,5
Óxido de magnesio (MgO)	0,5-5
Sulfato (SO ₃)	1,5-5
Equivalente de Na ₂ O _e	0,05-1,3
Pérdida por ignición % (PPI)	0-3

[0034] El contenido alcalino de diversos materiales puzolánicos y/o cementantes puede expresarse como un equivalente de sodio (Na₂O_e) que da cuenta de la presencia tanto de Na₂O como de K₂O calculada por la ecuación

45

$$z = x + (0,658 \cdot y) \text{ (EC 1)}$$

en que z es el equivalente de sodio Na₂O_e, x es la cantidad de Na₂O presente en la composición e y es la cantidad de K₂O presente en la composición. Dichos equivalentes de sodio "Na₂O_e" pueden oscilar de más de 0,01 % a una

cantidad mayor o igual a 0,5 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 1 % en peso en el cemento Portland. La pérdida por ignición (PPI) cuantifica la cantidad de materiales volátiles (agua, dióxido de carbono, hidratos y materiales orgánicos) presentes en la muestra, indicando generalmente la extensión en que se realiza el piroprocesamiento. Los parámetros de ensayo de PPI ejemplares se exponen en el ensayo C114 de la

5 ASTM "Métodos de ensayo normalizados para el análisis químico de cemento hidráulico" (Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement), donde se calienta una muestra y se mide la pérdida de masa para evaluar la pérdida de especies volátiles.

10 **[0035]** Como se reconoce por los especialistas en la materia, los clínkeres de cemento Portland pueden mezclarse posteriormente con materiales aditivos a cantidades de hasta aproximadamente 15 % en peso, oscilando opcionalmente de aproximadamente 2 a aproximadamente 10 % en peso. Los ejemplos de aditivos de cemento Portland típicos incluyen yeso (sulfato de calcio), cenizas volantes y escorias de alto horno granuladas molidas.

15 **[0036]** El material particulado sólido formando mezclando el componente aglutinante que comprende cemento Portland tiene de aproximadamente 1 a aproximadamente 15 % en peso de componente aglutinante de la mezcla total en base seca, opcionalmente de aproximadamente 3 a aproximadamente 12 % en peso de componente aglutinante de cemento Portland, y opcionalmente de aproximadamente 4 a aproximadamente 10 % en peso de componente aglutinante de cemento Portland de la mezcla total. En ciertos aspectos preferidos, el cemento Portland se proporciona a aproximadamente un 5 a aproximadamente un 10 % en peso a la mezcla seca total.

20 **[0037]** Como se discute anteriormente, en diversos aspectos, el mezclado del componente aglutinante con el componente de escoria ocurre en presencia de agua. Como se reconoce por los especialistas en la materia, la cantidad de agua presente en un sistema dicta la cantidad de formación de fase cementante, y por ello la extensión del reforzamiento, endurecimiento y aglomeración. Por ejemplo, las relaciones de agua a cemento Portland en

25 hormigón típico oscilan de menos de 0,35 a aproximadamente 0,65, con una cantidad mínima de 0,25 proporcionada generalmente para completar las reacciones de hidratación de los compuestos de cemento. Por tanto, de acuerdo con las presentes enseñanzas, se añade de aproximadamente 8 a aproximadamente 25 % en agua a la mezcla seca, opcionalmente de aproximadamente 10 a aproximadamente 15 % en peso de agua a la mezcla seca que incluye el componente de escoria y el componente aglutinante. Después de curar o endurecer el cemento Portland

30 que incluye componente aglutinante mediante reacciones hidráulicas, se forma un material sólido aglomerado para uso en dispositivos y procedimientos de rebaja de la contaminación de las presentes enseñanzas.

Componentes aglutinantes basados en almidón

35 **[0038]** En ciertos aspectos, el componente aglutinante comprende componentes aglutinantes basados en almidón. El almidón se clasifica generalmente como una mezcla de carbohidratos-glucanos complejos que tienen α -amilosa y amilopectina. La α -amilosa es una molécula polimérica lineal ligada por un enlace $\alpha(1 \rightarrow 4)$ y la amilopectina es una molécula polimérica ramificada que tiene residuos de glucosa ligados por $\alpha(1 \rightarrow 4)$ y puntos de ramificación $\alpha(1 \rightarrow 6)$ a intervalos regulares (por ejemplo, de media cada 24-30 residuos de glucosa). La relación de

40 amilosa a amilopectina es típicamente de 1:2 a aproximadamente 1:4 en una molécula de almidón. Los almidones adecuados derivan de diversas plantas incluyendo arroz, trigo, maíz, tapioca y/o patatas. Los componentes aglutinantes basados en almidón pueden modificarse opcionalmente para mejorar diversas propiedades físicas, tales como las propiedades espesante o adhesiva, o pueden proporcionarse en forma no modificada. La modificación química puede incluir esterificación o pregelatinización. Por tanto, el término "aglutinante basado en almidón"

45 engloba no solo los almidones aislados o extraídos de fuentes vegetales naturales, sino que también engloba derivados, equivalentes sintéticos o semisintéticos de dicho componente natural. Los componentes aglutinantes basados en almidón están a menudo mezclados con agua, estando presente el componente basado en almidón a aproximadamente 25 a aproximadamente 90 % en peso, opcionalmente de aproximadamente un 35 a aproximadamente 50 % en peso de almidón, siendo el resto agua y/o disolventes tales como polivinilalcohol.

50 **[0039]** El material particulado sólido formando mezclando el componente aglutinante que comprende almidón o un derivado de almidón tiene de aproximadamente 1 a aproximadamente 15 % en peso de componente aglutinante de la mezcla total en base seca, opcionalmente de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 % en peso de componente aglutinante de almidón y opcionalmente de aproximadamente 3 a aproximadamente 5 % en peso de

55 componente aglutinante de la mezcla total.

Goma guar

[0040] En ciertos aspectos, el componente aglutinante comprende goma guar. La goma guar, también

conocida como guarano, es un galactomanano (un polisacárido que tiene un esqueleto de manosa con grupos secundarios de galactosa) derivado generalmente de la semilla de la planta *Cyamopsis tetragonoloba*. La goma guar tiene típicamente una relación de residuos de manosa a galactosa de aproximadamente 1,5:1 a aproximadamente 2:1. La goma guar es un espesante y emulsionante y puede reticularse en presencia de ciertos agentes tales como calcio (que puede estar presente en el componente de escoria, otro componente aglutinante o en un tercer componente). "Goma guar" engloba no solo los extractos aislados o extraídos de la planta *Cyamopsis tetragonoloba*, sino que engloba también derivados, equivalentes sintéticos o semisintéticos de dicho extracto natural. La goma guar puede proporcionarse en formas acuosa o seca, que puede reconstituirse opcionalmente con agua o disolvente. Una goma guar ejemplar tiene un contenido de agua representativo de aproximadamente 40 % en peso a aproximadamente 60 % en peso.

[0041] El material particulado sólido formado mezclando el componente aglutinante que comprende goma gar tiene de aproximadamente 1 a aproximadamente 15 % en peso de componente aglutinante de la mezcla total en base seca, opcionalmente de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 % en peso de componente aglutinante de goma guar y opcionalmente de aproximadamente 1 a aproximadamente 3 % en peso de componente aglutinante de la mezcla total.

Melaza

[0042] En ciertos aspectos, el componente aglutinante comprende melaza u otros componentes aglutinantes basados en sacarosa. La melaza, también conocida como jarabe de sorgo, es un subproducto de jarabe espeso producido durante el refinado de caña de azúcar o remolacha azucarera. La melaza se trata comúnmente con dióxido de azufre como conservante, y se hace referencia a ella como "melaza sulfurada". Durante el procesamiento convencional de caña de azúcar, se extrae el zumo del material vegetal y entonces se hierve para cristalizar y retirar la sacarosa. Este proceso se repite típicamente tres veces, generando las denominadas "primera melaza", "segunda melaza" y finalmente "melaza residual", teniendo cada una sucesivamente cantidades reducidas de sacarosa. Para el procesamiento de remolacha azucarera, se extrae el zumo de la remolacha azucarera y se hierve para cristalización, sin embargo, habitualmente solo la etapa de cristalización final forma la denominada "melaza de remolacha". Como se usa en la presente memoria, "melaza" hace referencia a un subproducto generado durante un proceso de extracción y refinado de azúcar e incluye equivalentes, derivados, equivalentes sintéticos o semisintéticos de dicho subproducto natural. La melaza es un agente espesante adhesivo que, cuando se mezcla con el componente de escoria de las presentes enseñanzas, proporciona una forma particulada sólida deseada.

[0043] Los componentes aglutinantes de melaza pueden proporcionarse en formas hidratada o deshidratada. Cuando está hidratada, la melaza tiene generalmente un contenido de agua de aproximadamente 15 a aproximadamente 60 % en peso, opcionalmente de aproximadamente 20 a aproximadamente 50 % en peso.

Tercer componente de óxido de calcio y alcalino

[0044] En diversas realizaciones, el material particulado sólido comprende opcionalmente un tercer componente que comprende óxido de calcio (CaO) y una fuente de iones metálicos alcalinos, tal como iones de sodio y/o potasio, por ejemplo. En ciertas realizaciones, el tercer componente comprende un material que se genera o fabrica en un proceso industrial. Como se describirá con más detalle a continuación, algunas realizaciones emplean una reutilización beneficiosa de materiales de desecho que de otro modo de desecharían, acumularían o enterrarían. Sin embargo, pueden ser diversas fuentes adecuadas de óxido de calcio e iones de metal alcalino materiales de origen natural, tales como minerales, o pueden ser productos comerciales fabricados. En diversos aspectos, el tercer componente comprende un material seleccionado del grupo consistente en polvo de horno de cemento, polvo de horno de cal, cal de caña de azúcar, polvo de clínker, cal apagada, cal viva y cualquier combinación de los mismos. Dichas mezclas engloban cualquier combinación de dos o más componentes. En ciertas realizaciones, el tercer componente comprende un material seleccionado del grupo consistente en polvo de horno de cemento, polvo de horno de cal, cal de remolacha azucarera y combinaciones de los mismos. El tercer componente puede comprender otras fuentes de óxido de calcio e iones de metal alcalino, incluyendo a modo de ejemplo lodos de planta de tratamiento de aguas residuales, lodo de pulpa y papel, subproductos de la fabricación de carburo de calcio y otros materiales que proporcionan óxido de calcio e iones de metal alcalino, como son bien conocidos por el especialista en la materia.

[0045] Como se aprecia por el especialista en la materia, muchas de las fuentes de óxido de calcio e iones de metal alcalino pueden tener composiciones variadas, dependiendo del proceso particular en que se preparen, las composiciones específicas de materiales brutos y combustibles que se empleen para fabricar la fuente, las

condiciones y duración de almacenamiento o acumulación del material así como una variedad de otros factores.

[0046] A este respecto, en algunas realizaciones el tercer componente comprende preferiblemente uno o más ingredientes reactivos seleccionados del grupo consistente en: CaO, K₂O, Na₂O y combinaciones de los mismos, en que la cantidad total de ingredientes activos presentes en el material particulado sólido es de aproximadamente 30 a aproximadamente 60 % en peso. El tercer componente comprende opcionalmente compuestos activos adicionales además del óxido de calcio y óxidos alcalinos y dichos ingredientes activos no están limitados a los citados anteriormente. En ciertos aspectos, el tercer componente comprende óxido de calcio (CaO) a una cantidad mayor o igual a aproximadamente 30 % en peso.

[0047] En diversos aspectos, el tercer componente comprende cal libre (CaO libre) a una cantidad mayor o igual a aproximadamente 3 % en peso. "Cal libre" hace referencia al óxido de calcio libre (CaO libre) fácilmente disponible en un material para reacción de hidratación con agua. La cal no apagada, a la que se hace referencia también como cal viva, contiene una alta concentración de cal u óxido de calcio deshidratado (libre) (CaO) que puede experimentar reacción con agua, concretamente apagándose. En contraposición, una cal apagada o hidratada ha reaccionado ya con agua formando Ca(OH)₂. El contenido de cal libre se usa a menudo como indicador de la reactividad de materiales que contienen óxido de calcio. En ciertas realizaciones de la divulgación, la cal libre puede ser de aproximadamente 5 % o aún más.

[0048] En algunas realizaciones, el tercer componente comprende preferiblemente una cantidad de fuente de ión alcalino en forma de óxido de sodio (Na₂O) y/u óxido de potasio (K₂O) mayor o igual a aproximadamente 1 % en peso. Debería observarse que algunos iones de metal alcalino complejan con diversos aniones tales como sulfatos, sin embargo, un análisis típico del contenido alcalino expresa los óxidos y sulfatos de metal alcalino individualmente. En ciertas realizaciones, la cantidad de fuente de ión alcalino en forma de óxido de sodio (Na₂O) y/u óxido de potasio (K₂O) es mayor o igual a aproximadamente 3 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente un 4 % en peso.

[0049] Los equivalentes de sodio Na₂O_e (véase la EC 1) pueden oscilar desde una cantidad mayor de 0,01 % a mayor o igual a aproximadamente 1 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 2 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 3 % en peso y, en algunas realizaciones, mayor o igual a aproximadamente 5 % en peso.

[0050] Como se discutirá con más detalle a continuación, los iones de metal alcalino promueven condiciones de reacción deseables para el material sólido, tal como proporcionando un pH alto que se cree que proporciona una velocidad de reacción más rápida con uno o más contaminantes y que favorece la formación de productos preferidos en la reacción de material particulado sólido con ciertos contaminantes, específicamente por ejemplo dióxido de carbono.

[0051] En ciertas realizaciones, el tercer componente tiene una composición como se expone en la Tabla III, excluyendo impurezas y diluyentes.

Tabla III

Óxido	Peso aproximado %
Óxido de calcio (CaO)	30-45
Sílice (SiO ₂)	10-20
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	2-7
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	1-3
Óxido de magnesio (MgO)	0,5-3
Sulfato (SO ₃)	1-15
Óxido de sodio (Na ₂ O)	0,1-1
Óxido de potasio (K ₂ O)	0,1-15

[0052] En algunas realizaciones, el tercer componente comprende polvo de horno de cemento (CKD), que generalmente hace referencia a un subproducto generado en un horno de cemento o equipo de procesamiento relacionado durante la fabricación de cemento Portland. El cemento Portland puede fabricarse en un horno de cocción de proceso en húmedo o en seco. Aunque los procesos en húmedo y en seco difieren, ambos procesos calientan el material bruto en etapas. Los materiales brutos de fabricación de cemento comprenden fuentes de calcio, sílice, hierro y alúmina, e incluyen habitualmente caliza, así como una variedad de otros materiales tales

como arcilla, arena y/o esquisto, por ejemplo.

[0053] Generalmente, el CKD comprende una combinación de diferentes partículas generadas en diferentes zonas del horno de cocción, equipo de pretratamiento y/o sistemas de manejo de material incluyendo, por ejemplo, polvo de clínker, polvo de material de parcial a totalmente calcinado y polvo de material bruto (hidratado y deshidratado). Como se aprecia por los especialistas en la materia, la composición del CKD varía basándose en los materiales brutos y combustibles usados, las condiciones de fabricación y procesamiento y la localización de los puntos de recogida de CKD en el proceso de fabricación de cemento. El CKD puede incluir polvo o material particulado recogido de corrientes efluentes de horno de cocción (concretamente, de escape), efluente de enfriador de clínker, efluente de precalcinador, dispositivos de control de la contaminación del aire y similares. El polvo de enfriador de clínker hace referencia al polvo recogido en las zonas de enfriamiento de clínker del horno de cocción y tiene típicamente una composición química que es muy similar al cemento Portland.

[0054] Aunque las composiciones de CKD variarán para diferentes hornos de cocción, el CKD tiene habitualmente algunas propiedades cementantes y/o puzolánicas debido a la presencia de polvo de clínker y materiales calcinados. Las composiciones de CKD típicas comprenden compuestos que contienen silicio tales como silicatos, incluyendo silicato de tricalcio y silicato de dicalcio; compuestos que contienen aluminio tales como aluminatos, incluyendo aluminato de tricalcio y compuestos que contienen hierro tales como ferritas, incluyendo aluminoferrita de tetralcalcio. El CKD comprende generalmente cantidades relativamente altas de óxido de calcio (CaO). Las composiciones de CKD ejemplares comprenden óxido de calcio a aproximadamente 10 a aproximadamente 60 % en peso, opcionalmente a aproximadamente 25 a aproximadamente 50 % en peso y opcionalmente a aproximadamente 30 a aproximadamente 55 % en peso. En algunas realizaciones, el CKD comprende una concentración de cal libre de aproximadamente 1 a aproximadamente 10 %, opcionalmente de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 %, y en algunas realizaciones, de aproximadamente 3 a aproximadamente 5 %. Adicionalmente, el CKD comprende típicamente iones de metal alcalino de sodio y potasio, respectivamente a aproximadamente 0,1 a aproximadamente 10 % en peso y opcionalmente a aproximadamente 0,2 a aproximadamente 5 % en peso. El CKD puede comprender iones de metal alcalino adicionales, iones de metal alcalinotérreo y azufre, entre otros. El CKD comprende típicamente también sílice (SiO₂) a aproximadamente 10 a aproximadamente 20 % en peso, alúmina (Al₂O₃) a aproximadamente 2 a aproximadamente 7 % en peso y óxido de hierro (Fe₂O₃) a aproximadamente 1 a aproximadamente 3 % en peso.

[0055] Los polvos de CKD ejemplares tienen intervalos de densidad relativa de aproximadamente 2,6 a 2,8, un tamaño máximo de partícula de aproximadamente 0,30 mm (300 μm) y una finura Blaine (área superficial específica) que oscila de aproximadamente 4.600 a aproximadamente 14.000 cm²/g.

[0056] En ciertas realizaciones, el tercer componente del material particulado sólido de la divulgación comprende cal (concretamente, cal viva) o polvo de horno de cal (LKD). El LKD es un subproducto de la fabricación de cal. El LKD es polvo o material particulado recogido de un horno de cal o equipo de procesamiento asociado. La cal fabricada puede clasificarse como cal rica en calcio o cal dolomítica, y el LKD varía basándose en los procesos que la forman. La cal se produce a menudo mediante una reacción de calcinación realizada calentando material bruto calcítico, tal como carbonato de calcio (CaCO₃), formando cal libre CaO y dióxido de carbono (CO₂). La cal rica en calcio tiene una alta concentración de óxido de calcio y típicamente algunas impurezas, incluyendo compuestos que contienen aluminio y que contienen hierro. La cal rica en calcio se forma típicamente a partir de carbonato de calcio de alta pureza (aproximadamente 95 % de pureza o más). El contenido típico de óxido de calcio en un producto de LKD derivado del procesamiento de cal rica en calcio es similar a la concentración de óxido de calcio en el producto de cal mismo, y puede ser mayor o igual a aproximadamente 75 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 85 % en peso y, en algunos casos, mayor o igual a aproximadamente 90 % en peso. En alguna fabricación de cal, se descompone dolomita (CaCO₃·MgCO₃) calentando para generar principalmente óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO), formando por tanto lo que es conocido como cal dolomítica. En la cal o LKD generado por procesamiento de cal dolomítica, el óxido de calcio puede estar presente a una cantidad mayor o igual a aproximadamente 45 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 50 % en peso y, en ciertas realizaciones, mayor o igual a aproximadamente 55 % en peso. Aunque tanto cal como LKD varían basándose en el tipo de procesamiento de cal empleado, tienen generalmente altas concentraciones de cal libre. Las cantidades típicas de cal libre en dichos productos de cal o LKD son de aproximadamente 10 a aproximadamente 50 %, opcionalmente de aproximadamente 20 a aproximadamente 40 %.

[0057] Adicionalmente, los productos de LKD y cal comprenden típicamente iones de metal alcalino de sodio y potasio a las cantidades respectivas de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 1 % en peso, y opcionalmente de aproximadamente 0,03 a aproximadamente 0,25 % en peso. Cal y/o CKD pueden comprender iones de metal

alcalino adicionales, iones de metal alcalinotérreo (tales como MgO descrito anteriormente) y azufre, entre otros. El LKD comprende también sílice (SiO_2) a aproximadamente 1 a aproximadamente 10 % en peso, alúmina (Al_2O_3) a aproximadamente 0,1 a aproximadamente 5 % en peso y óxido de hierro (Fe_2O_3) a aproximadamente 0,5 a aproximadamente 2 % en peso. Los LKD ejemplares tienen una densidad específica que oscila de aproximadamente 2,6 a 3,0, un tamaño máximo de partícula de aproximadamente 2 mm (2.000 μm) y una finura Blaine (área superficial específica) que oscila de aproximadamente 1.300 a aproximadamente 10.000 cm^2/g .

[0058] Otro material ejemplar para uso como tercer componente del material particulado sólido de la presente divulgación es un subproducto de cal de refinado de azúcar. La cal se usa en la producción de azúcar derivado de caña de azúcar, remolacha azucarera, jarabe de arce y sorgo. Por ejemplo, se recogen caña de azúcar y remolacha azucarera y se procesan con agua formando un zumo bruto (habitualmente un producto de melaza) que tiene un pH bajo y contiene impurezas disueltas. El zumo de azúcar contiene por tanto sacarosa, pulpa, diversos no azúcares por ejemplo sales orgánicas e inorgánicas, aminoácidos, tintes y sustancias de alto peso molecular tales como proteína y pectina. Se añade cal hidratada al zumo para elevar el pH y reaccionar con las impurezas, formando compuestos orgánicos de calcio insolubles que pueden retirarse. En un procedimiento de purificación de azúcar convencional, se añaden cal (CaO) y dióxido de carbono (CO_2), lo que da como resultado la formación de un precipitado (lodo) consistente en carbonato de calcio y parte de los componentes no de azúcar anteriormente mencionados. El lodo deshidratado comprende óxido de calcio (CaO), habitualmente en forma hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Adicionalmente, el zumo de azúcar puede refinarse sucesivamente de esta manera. La remolacha azucarera tiende a requerir la mayor cantidad de refinado con cal, y se hace referencia al subproducto de lodo generalmente como "cal de remolacha azucarera". Sin embargo, el uso del término "cal de remolacha azucarera" es simplemente representativo de la clase de subproductos de cal de procesamiento de azúcar adecuados para uso en los materiales particulados sólidos de la divulgación.

[0059] En la cal de remolacha azucarera, el óxido de calcio puede estar presente en una cantidad mayor o igual a aproximadamente 25 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 30 % en peso y, en ciertas realizaciones, mayor o igual a aproximadamente 40 % en peso. La cal de remolacha azucarera comprende típicamente también iones de metal alcalino tales como sodio y potasio, presentes respectivamente a una cantidad de aproximadamente 0,01 % en peso o más, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 0,05 % en peso, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 0,1 % en peso, y en algunas realizaciones, mayor o igual a aproximadamente 1 % en peso de la composición.

[0060] En diversas realizaciones, el material particulado sólido comprende un componente aglutinante a aproximadamente 1 a aproximadamente 20 % en peso y un componente de escoria a aproximadamente 80 a aproximadamente 97 % en peso. En ciertos aspectos, un material particulado sólido comprende de aproximadamente 5 a aproximadamente 10 % de componente aglutinante que comprende cemento Portland y un componente de escoria que comprende escoria de acero inoxidable a aproximadamente un 95 % en peso en base seca (como se describe anteriormente). Cuando está presente un tercer componente opcional en el material particulado sólido, el componente aglutinante está presente a aproximadamente 1 a aproximadamente 15 % en peso, el componente de escoria a aproximadamente 40 a aproximadamente 70 % en peso y el tercer componente a aproximadamente entre aproximadamente 15 y aproximadamente 57 % en peso. En ciertos aspectos, el material particulado sólido comprende de aproximadamente 5 a aproximadamente 10 % de componente aglutinante que comprende cemento Portland, un componente de escoria que comprende escoria de acero inoxidable a aproximadamente 30 a 65 % en peso y un tercer componente que comprende CKD a aproximadamente 30 a aproximadamente 65 % en peso de la composición de material particulado sólido total. Opcionalmente, el componente de escoria está presente a aproximadamente 40 % en peso, el CKD está presente a aproximadamente 40 % en peso y el componente aglutinante de cemento Portland está presente a aproximadamente 10 % en peso en base seca. Como alternativa, la relación de componente de escoria a tercer componente oscila de aproximadamente 99:1 a aproximadamente 1:99, opcionalmente de aproximadamente 0,5:1 a aproximadamente 1:0,5, y es opcionalmente de aproximadamente 1:1. Los componentes de escoria y aglutinante, así como el agua opcional, tercer componente u otros aditivos opcionales, pueden combinarse y procesarse en un mezclador, agitador o molino, consiguiendo suficiente mezclado de los componentes respectivos.

[0061] Por tanto, mezclar el componente de escoria con el componente aglutinante forma una pluralidad de partículas sólidas peletizadas. Dichas partículas peletizadas pueden aglomerarse y tienen una estructura altamente porosa, por ejemplo, que tiene un área superficial media mayor o igual a aproximadamente 100 cm^2/g , opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 500 cm^2/g , opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 1.000 cm^2/g y, en algunas realizaciones, mayor de 4.000 cm^2/g . Los tamaños de partícula menores tienden a tener mayores áreas superficiales, lo que promueve la reacción de los ingredientes activos. Dichos tamaños de partícula y

áreas superficiales pueden conseguirse seleccionando el componente de escoria y/o el tercer componente para que tengan un tamaño de partícula menor que el tamaño de partícula de aglomerado deseado y controlando la cantidad relativa de aglutinante añadida al componente de escoria. Puede realizarse el procesamiento adicional de los materiales mezclados por molienda o trituración, por ejemplo, antes o después de mezclar los componentes de escoria y aglutinante (y opcionalmente el tercer componente) en un molino de bolas para reducir el tamaño de partícula.

[0062] En ciertas realizaciones, el material sólido comprende partículas peletizadas. Se contemplan una variedad de diferentes tamaños de diámetro medio de partícula, por ejemplo, una pluralidad de partículas que tienen un tamaño de diámetro medio de partícula de aproximadamente 0,25 a aproximadamente 12 mm. La pluralidad de partículas tiene opcionalmente un tamaño de diámetro de partícula medio de aproximadamente 0,25 mm a aproximadamente 6 mm, opcionalmente un tamaño de diámetro medio de partícula de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 6 mm, opcionalmente un tamaño de diámetro medio de partícula de aproximadamente 1 a aproximadamente 6 mm, opcionalmente de aproximadamente 2 mm a aproximadamente 6 mm. En aspectos alternativos, el tamaño de diámetro medio de partícula es de aproximadamente 6 a aproximadamente 9 mm o de aproximadamente 9 a aproximadamente 12 mm. El tamaño de diámetro medio de partícula preferido depende del volumen del reactor de lecho empacado, de la caída de presión deseada a través del reactor, del tiempo de residencia y de la cantidad de reducción del contaminante requerida. Por ejemplo, una ecuación útil para calcular la caída de presión a través de un lecho empacado con vistas al diámetro de partícula del medio es la ecuación de Ergun expuesta en la EC. 2 siguiente.

$$\frac{dP}{dL} = \frac{G}{\rho g_c D_p} \left(\frac{1-\phi}{\phi^3} \right) \left[\frac{150(1-\Phi)\mu}{D_p} \right] + 1,75G \quad \text{EC. 2}$$

$\frac{dP}{dL}$ es la caída de presión a través del lecho empacado. L es la longitud del lecho empacado (pies).

Adicionalmente, $G = \rho u$, que es la velocidad másica superficial en $\text{lb}_m/\text{ft}^2 \cdot \text{h}$, siendo ρ la densidad del fluido de paso y u la velocidad superficial (la velocidad que tendría el fluido a través de un reactor vacío al mismo caudal volumétrico), encontrada por el caudal de fluido volumétrico dividido entre el área de sección transversal. Φ es la porosidad del lecho, que se encuentra dividiendo el volumen del sólido entre el volumen de lecho total. g_c es la constante gravitacional de $32,174 \text{ lb}_m \cdot \text{ft}/\text{s}^2 \cdot \text{lb}_f$, D_p es el diámetro de partícula equivalente medio del material de empacado sólido, y μ es la viscosidad dinámica del fluido que pasa a través del lecho en $\text{lb}_m/\text{ft} \cdot \text{hr}$.

[0063] En instalaciones de fabricación típicas, las corrientes efluentes o de escape de diversos procesos tienen caudales que oscilan de aproximadamente $285 \text{ m}^3/\text{min}$ reales a aproximadamente $85.000 \text{ m}^3/\text{min}$. Sin embargo, como se aprecia por los especialistas en la materia, dichos caudales varían basándose en la capacidad de la instalación y el tipo de proceso, y son difíciles de generalizar. Por ejemplo, el escape de horno de cocción de una instalación de fabricación de cemento típica es habitualmente de aproximadamente $2.800 \text{ m}^3/\text{min}$ a aproximadamente $11.000 \text{ m}^3/\text{min}$ y los caudales de escape de caldera típicos pueden oscilar de aproximadamente $2.800 \text{ m}^3/\text{min}$ a aproximadamente $17.000 \text{ m}^3/\text{min}$. Por tanto, en ciertas realizaciones, el reactor de lecho empacado es capaz de procesar caudales de gas de escape industrial típicos y de permitir el contacto con el material sólido.

[0064] En ciertas realizaciones, cuando un caudal volumétrico es de aproximadamente $1140 \text{ m}^3/\text{min}$, el tamaño de diámetro medio de partícula es de aproximadamente 1 a aproximadamente 6 mm. Como tal, la presión diferencial desde la entrada al reactor de lecho empacado a la salida del reactor de lecho empacado es menor o igual a aproximadamente 250 Pa.

[0065] En ciertas realizaciones de la divulgación, el contacto del material particulado sólido ocurre en un reactor de lecho fluidificado, un lavador Venturi en seco, un reactor de lecho empacado y/o cualquier combinación o equivalente de los mismos. La lista de los reactores anteriores no es limitante, ya que se contemplan por la presente divulgación otros reactores adecuados para efectuar reacciones gas/sólido bien conocidos en la materia. En ciertas realizaciones, la corriente efluente generada en una fuente de combustión se introduce en un reactor de lecho empacado que contiene una pluralidad de partículas sólidas formadas mezclando el componente de escoria con el componente aglutinante.

[0066] Los reactores de lecho fluidificado suspenden partículas sólidas en chorros de gas sopladados hacia

arriba durante el proceso de reacción y son bien conocidos en la materia. Por ejemplo, los lechos fluidificados atmosféricos usan un material absorbente sólido para capturar contaminantes generados por la combustión de combustible fósil. En ciertos aspectos, el fluido debería fluir hacia arriba y tener suficiente velocidad de fluido para elevar la pluralidad de partículas mediante fuerzas de fricción. De esta manera, se consigue un mezclado turbulento de sólidos y gases.

5
10
15
[0067] En ciertos aspectos de la divulgación, la corriente efluente puede comprender suficiente agua mediante la reacción de combustión, o puede añadirse agua/vapor antes del reactor a la corriente efluente o al material sólido, si es necesario, para posibilitar la reacción con un material particulado sólido seco en un reactor. Por ejemplo, el contenido de agua representativo en una corriente efluente es generalmente menor o igual a aproximadamente 3 % en peso, opcionalmente menor o igual a aproximadamente 0,5 % en peso. Sin embargo, en ciertos aspectos alternativos, la corriente efluente puede pasar a través de lavadores u otros equipos que pueden aumentar el contenido de agua de la corriente efluente cuando entra en el reactor y puede ser mucho mayor, hasta el punto de saturación.

20
25
30
35
40
45
[0068] Un reactor de lecho empaquetado consiste en una torre con un lecho empaquetado de medio. Opcionalmente, dichos lechos pueden tener adicionalmente objetos pequeños o etapas de material dispuestos en los mismos. Estos objetos espaciadores pueden tener la forma de sillas de montar, anillos, mallas o formas especializadas que se designan para maximizar el contacto entre los materiales particulados sólidos y el gas de escape, minimizando la caída de presión y manteniendo la porosidad deseada entre las partículas sólidas para reducir la sedimentación. Los reactores de lecho empaquetado funcionan típicamente a caídas de presión mucho menores que otros reactores, por ejemplo un reactor lavador Venturi, y proporcionan típicamente una mayor eficacia de retirada de contaminantes.

50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
[0069] Se muestra un reactor de lecho empaquetado en las Figuras 1 y 2. La torre del reactor 10 se diseña típicamente para que, a carga máxima, la velocidad superficial media del gas no supere la velocidad de diseño del gas. Para la mayoría de reactores de lecho empaquetado, la velocidad media del gas varía de aproximadamente 2,5 a 7 m/s basándose en las condiciones de salida, sin embargo la presente divulgación no está limitada a ninguna velocidad particular. El gas efluente/de combustión entra en el reactor de lecho empaquetado 10 por una entrada 12. La corriente de fluido efluente se genera anteriormente en un horno, una incineradora, una caldera o un horno de cocción, y comprende al menos un contaminante seleccionado de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono, y preferiblemente tiene vapor de agua presente de la reacción de combustión. El reactor de lecho empaquetado 10 tiene una cámara de reactor externa 13 y una cámara interna 14 que contiene un lecho de reactor 16 que tiene una pluralidad de partículas de material sólido 20 que forman un cuerpo de medio empaquetado 22 dispuesto en el mismo. La pluralidad de partículas de material sólido contienen cualquiera de las variaciones de material discutidas anteriormente. El fluido efluente entra en el lecho de reactor 16 y fluye a través del cuerpo de medio sólido 22 entrando en contacto con partículas de material sólido individuales 20, donde ocurre una reacción que adsorbe y/o reacciona con los contaminantes deseados de la corriente efluente, retirándolos así de los gases de paso. Aunque no se muestra, pueden proporcionarse una pluralidad de etapas, teniendo cada una medio material sólido en la misma. Después de entrar en contacto con el cuerpo de medio de lecho empaquetado 22, la corriente efluente sale del reactor por la salida 26. El diseño del reactor 10 está influido por la composición, porosidad y tamaño de partícula de las partículas de medio sólido, el nivel de retirada de contaminantes deseado, la temperatura y presión del gas de entrada (fluido efluente) así como otros varios factores bien conocidos por los especialistas en la materia.

[0070] Las presiones operativas varían típicamente entre aproximadamente 7 kPa y aproximadamente 690 kPa, aunque la divulgación no está limitada a dichas presiones ejemplares. El volumen del lecho de reactor 16 permite acercar la terminación de varios procesos químicos y físicos. El contacto gas/vapor-sólido en las torres permite una alta eficacia para la retirada de contaminante y la maximización del uso de reactivos. En diversos aspectos, es deseable minimizar la presión diferencial o caída de presión del fluido efluente desde la entrada 12 del reactor 10 a la salida 26 del reactor 10. Las presiones diferenciales representativas del intervalo de entrada 12 a salida 26 son deseablemente menores o iguales a aproximadamente 250 Pa.

[0071] Aunque no se muestra, el lecho de reactor 16 de la cámara interna 14 puede contener dispositivos adicionales para afectar a la turbulencia y retener la posición de la pluralidad de partículas sólidas 20, por ejemplo, deflectores, materiales estructurales porosos o medios en forma de silla de montar que mantienen la posición del lecho de medio promoviendo la distribución de fluido y la turbulencia a través del cuerpo de reactor de lecho empaquetado 16, potenciando la oportunidad de interfase entre el gas efluente 112 y las partículas sólidas 20 en el reactor 10. Adicionalmente, la cámara interna 14 y el lecho de reactor 16 se dimensionan, o tienen un volumen

suficiente, para proporcionar un tiempo de residencia que posibilite el tratamiento de la corriente efluente para reducir la cantidad de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y/o dióxido de carbono preferiblemente al menos

aproximadamente un 20 %. Tiempo de residencia hace referencia generalmente a $\tau = \frac{\text{volumen de reactor}}{\text{caudal de gas}}$,

indicando el tiempo medio que está una molécula en un reactor 10. Como tal, de acuerdo con ciertos aspectos de la divulgación, la cámara interna 14 se dimensiona para tener un volumen que permita que el fluido efluente tenga un tiempo de residencia suficiente para reaccionar con el material particulado sólido 20 en el lecho de reactor 16, consiguiendo la retirada deseada de uno o más contaminantes. Como se aprecia por los especialistas en la materia, dichos volúmenes pueden determinarse por el caudal de fluido efluente para tratar. Aunque no se muestra en las Figuras 1 y 2, puede emplearse un bucle de reciclado para reintroducir el fluido efluente que sale por la salida del reactor 26 de vuelta a la entrada 12 para retirada de contaminación adicional.

[0072] En diversos otros aspectos, la divulgación proporciona procedimientos de reducción de emisiones de óxidos de azufre y dióxido de carbono de corrientes efluentes generadas mediante fuentes de combustión estacionarias (por ejemplo, calderas, incineradoras), hornos de cemento, hornos de cal, hornos de hierro y hornos de acero. Como se describe anteriormente, los procedimientos de las presentes enseñanzas pueden retirar adicionalmente uno o más contaminantes seleccionados del grupo de: óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, clorofluorocarburos, ácido clorhídrico, material particulado, compuestos orgánicos volátiles, compuestos en aerosol, mercurio, plomo, amoníaco y ozono. De esta manera, diversos aspectos de la divulgación proporcionan un medio eficaz para retirar las emisiones de contaminación del aire peligrosas y por tanto controlar las emisiones de gases de efecto invernadero, reciclando adicionalmente al menos un subproducto industrial a un nuevo uso.

[0073] Las Figuras 3 y 4 exhiben diagramas de flujo de proceso alternativos de un sistema de retirada de contaminante del aire de acuerdo con ciertos aspectos de la divulgación. En la Figura 3, una fuente de combustión 100 genera una corriente efluente 112 que tiene uno o más contaminantes del aire. Se introduce la corriente efluente 112 en un reactor de lecho empacado 114, que tiene una pluralidad de partículas sólidas según los principios de la presente divulgación. Antes del contacto con el material sólido del reactor de lecho empacado 114, la temperatura de fluido 112 puede tener una temperatura de menos de aproximadamente 316 °C. Dichas reacciones, a saber aquellas que ocurren a menos de aproximadamente 316 °C, se consideran "de baja temperatura". En algunas realizaciones, el contacto ocurre en un entorno de temperatura menor o igual a aproximadamente 232 °C, opcionalmente menor o igual a aproximadamente 204 °C, opcionalmente menor o igual a aproximadamente 177 °C, opcionalmente menor o igual a aproximadamente 135 °C, opcionalmente menor o igual a aproximadamente 121 °C, opcionalmente menor o igual a aproximadamente 93 °C, opcionalmente menor o igual a aproximadamente 66 °C, opcionalmente menor o igual a aproximadamente 38 °C y, en ciertos aspectos, a temperaturas ambientales en el intervalo de presiones de reactor discutidas anteriormente. En ciertos aspectos, el contacto ocurre a una temperatura mayor o igual a aproximadamente 135 °C y menor o igual a aproximadamente 232 °C, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 149 °C y menor o igual a aproximadamente 177° C. A este respecto, la corriente efluente 112 puede enfriarse, por ejemplo mediante un intercambiador de calor, antes del contacto con el material particulado sólido. Como alternativa, el reactor puede estar situado muy por delante de la combustión en una zona de baja temperatura del sistema. Las enseñanzas de la presente divulgación son particularmente ventajosas para una retirada eficaz de cantidades significativas de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y/o dióxido de carbono a dichas bajas temperaturas.

[0074] Por tanto, en diversos aspectos, la presente divulgación proporciona procedimientos de reducción de la contaminación generada por una fuente de combustión 100 mediante la reducción de la cantidad inicial de óxidos de azufre presente en una corriente de fluido 112 que sale de la fuente de combustión 100 mediante la puesta en contacto de la corriente de fluido 112 a bajas temperaturas con un material sólido formado mezclando un componente de escoria que tiene uno o más compuestos de silicato reactivos con un componente aglutinante como se describe anteriormente. En otros aspectos, los procedimientos de la presente divulgación proporcionan la reducción de la cantidad inicial de óxidos de nitrógeno presente en una corriente de fluido que sale de la fuente de combustión 100 mediante la puesta en contacto de la corriente de fluido 112 a bajas temperaturas con un material sólido formado mezclando un componente de escoria que tiene uno o más compuestos de silicato reactivos con un componente aglutinante. En ciertos aspectos, la cantidad inicial de uno o más contaminantes del aire seleccionados del grupo consistente en óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono presentes en la corriente de fluid 112 se retira mediante la puesta en contacto con los materiales sólidos de la presente divulgación a bajas temperaturas.

[0075] Por tanto, el efluente tratado que sale del reactor 114 tiene una cantidad reducida de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono en comparación con la cantidad inicial de óxidos de azufre, óxidos de

nitrógeno y dióxido de carbono presente en la corriente efluente no tratada 112. En ciertos aspectos, la eficacia de la retirada de dióxido de carbono del reactor 114 es mayor o igual a aproximadamente 20 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 25 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 30 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 35 %. La eficacia de retirada puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

5

$$ER (\%) = 100 \left(1 - \frac{E_o}{E_i} \right) \quad (\text{EC. 3})$$

en que la eficacia de retirada (ER) e el porcentaje de contaminante retirado de la corriente efluente y en que E_i es la cantidad media de contaminante presente en la corriente efluente (caudal másico medido antes de la entrada al reactor) y E_o es la cantidad media de contaminante presente en la corriente efluente después de salir del reactor (caudal másico medido a la salida del reactor).

[0076] La cantidad de óxidos de azufre retirada de la corriente de fluido después del contacto con el material sólido en el lecho del reactor corresponde a una eficacia de retirada opcionalmente mayor o igual a 70 %, opcionalmente mayor o igual a 75 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 80 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 85 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 90 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 95 % en peso. La eficacia de retirada refleja la reducción de los óxidos de azufre después del contacto con la corriente de fluido efluente, en comparación con la cantidad inicial de óxidos de azufre presente en la corriente de fluido antes del contacto. Las eficacias de retirada descritas en la presente memoria pueden determinarse como una media durante un intervalo de tiempo, por ejemplo, una eficacia de retirada media durante 1 minuto, 10 minutos, 1/2 hora o 1 hora, por ejemplo. En ciertos aspectos, la eficacia de retirada de los óxidos de azufre se optimiza para ser mayor de 75 %, opcionalmente mayor de 80 %, opcionalmente mayor de 85 %, y en algunas realizaciones mayor de 90 %. Reciclar la corriente que sale del reactor reintroduciendo la corriente a la entrada del reactor, como se discute anteriormente, donde se trata adicionalmente la corriente reciclada, retira contaminantes adicionales y proporciona una mayor eficacia de retirada para cada uno de los contaminantes del aire discutidos en la presente memoria.

[0077] La cantidad de óxidos de nitrógeno retirada de la corriente de fluido después del contacto con el material sólido en el lecho del reactor se refleja por una eficacia de retirada mayor o igual a aproximadamente 10 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 15 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 20 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 25 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 30 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 40 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 50 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 60 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 75 %. En ciertos aspectos, la eficacia de retirada de óxidos de nitrógeno se optimiza para ser mayor o igual a aproximadamente 20 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 25 %.

[0078] La cantidad de dióxido de carbono retirada de la corriente fluida después del contacto con el material sólido en el lecho del reactor se refleja por una eficacia de retirada mayor o igual a aproximadamente 20 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 25 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 30 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 35 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 40 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 50 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 60 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 75 %. Además, en diversos aspectos, dichos procedimientos se realizan a bajas temperaturas, en las que la corriente de fluido tiene una temperatura de menos de aproximadamente 316 °C.

[0079] Adicionalmente, de acuerdo con diversos aspectos de la presente divulgación, se retira simultáneamente una pluralidad de contaminantes de la corriente efluente. Por ejemplo, la cantidad acumulada total de dióxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono en la corriente efluente se reduce después de poner en contacto con los materiales sólidos en el reactor de lecho empaquetado con una eficacia de retirada mayor o igual a aproximadamente 20 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 25 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 30 %, opcionalmente mayor o igual a aproximadamente 35 % y, en algunos aspectos, mayor o igual a aproximadamente 40 % de eficacia de retirada de la cantidad total de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono. Por tanto, en ciertos aspectos, la eficacia de retirada es mayor o igual a aproximadamente 20 % por hora de la cantidad acumulada total de dióxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono presente inicialmente en la corriente efluente.

[0080] Por tanto, en ciertos aspectos, se monitoriza la concentración de uno o más contaminantes en la

corriente efluente que sale del reactor de la presente divulgación. Dicha monitorización es bien conocida por los especialistas en la materia y puede incluir sistemas de monitorización continua de emisiones (MCE) que proporcionan una concentración media de contaminantes diana en la corriente efluente durante un intervalo predeterminado, por ejemplo, gramos por minuto. Si se determina una eficacia de retirada predeterminada para un contaminante, la monitorización de la concentración del contaminante diana en la corriente efluente indicará cuando se ha consumido el medio material y debería reemplazarse por medio reciente. Por tanto, puede usarse en un sistema de control la eficacia de retirada predeterminada, y puede determinarse mediante la observación empírica del sistema y/o mediante cálculos que modelan el sistema. Si la concentración de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y/o dióxido de carbono supera un punto fijo predeterminado, se retira entonces el medio material particulado sólido mediante eliminación. En ciertos aspectos, el reactor puede llevarse fuera de proceso y puede reemplazarse entonces el medio material sólido por medio reciente y devolverse de nuevo al proceso.

[0081] Después de la reacción de dióxido de carbono y/o dióxido de azufre con el material particulado sólido, se genera un producto de material sólido consumido que comprende carbonato de calcio y/o sulfato de calcio. En ciertos aspectos, el material sólido consumido puede regenerarse y reutilizarse en el reactor. En un aspecto, la superficie de las partículas de material sólido aglomerado puede retirarse mediante molienda de superficie y cribado. El material retirado de la superficie incluye carbonato de calcio y/o sulfato de calcio. De esta manera, se regenera la superficie consumida para reacción adicional con el (los) contaminante(s) en la corriente de fluido efluente, y el material sólido puede reutilizarse en el lecho del reactor. En otro aspecto, pueden molerse los peletes de material sólido aglomerado, por ejemplo en un molino, y mezclarse entonces con nuevo componente aglutinante para volver a formar peletes de material sólido. Se regeneran por tanto las superficies de los materiales sólidos y pueden reutilizarse. Se usa opcionalmente el material particulado sólido consumido (que tiene carbonato de calcio y/o sulfato de calcio) como material bruto para otro proceso industrial, tal como material bruto en la fabricación de cemento o fundente en un proceso de fabricación de hierro y/o acero, debido a la presencia de carbonato de calcio y/o sulfato de calcio.

[0082] En otros aspectos, el reactor 200 es capaz de uso continuo y puede tener al menos dos cámaras internas 202 distintas operativas, como se muestra en la Figura 5. Durante la operación, solo está activa una de las dos cámaras de reacción (204) y una válvula de derivación 208 desvía el flujo efluente de la otra cámara (206), que está inactiva. Puede reemplazarse el material sólido 210 en la cámara inactiva 206, proporcionando por tanto una operación continua ininterrumpida del sistema de retirada de contaminación. La pluralidad de partículas sólidas del lecho de medio sólido puede cargarse directamente al lecho del reactor, con dispositivos espaciadores opcionales según se desee, o como alternativa puede proporcionarse en cartuchos desechables que pueden disponerse dentro de la cámara interna del reactor. Por tanto, en ciertas realizaciones, el sistema de captura de contaminantes es continuo y regenerativo.

[0083] Por tanto, en diversos aspectos, la divulgación proporciona un sistema de rebaja de la contaminación que comprende una fuente de combustión que genera una corriente efluente que tiene al menos un contaminante del aire seleccionado del grupo consistente en: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono, que está presente en la corriente efluente a una cantidad inicial. El sistema incluye un reactor de lecho empacado que tiene una entrada para recibir la corriente efluente y una salida. El reactor tiene al menos una cámara que comprende una pluralidad de partículas sólidas que tienen un tamaño de diámetro medio de partícula de aproximadamente 0,25 mm a aproximadamente 12 mm. Las partículas sólidas se forman mezclando el componente de escoria que tiene uno o más compuestos de silicato reactivos con un componente aglutinante. La cámara tiene un volumen que proporciona un tiempo de residencia suficiente para reducir la cantidad de contaminante del aire con una eficacia de retirada de al menos aproximadamente 20 % respecto a la cantidad inicial.

[0084] Como se discute anteriormente, se cree que los compuestos activos son silicatos reactivos. Adicionalmente, aunque sin imitar las enseñanzas a ninguna teoría particular, en ciertos aspectos, el óxido de calcio puede desempeñar también un papel en la reacción con uno o más contaminantes (SO_x , NO_x y/o CO_2) en la corriente efluente. Aunque no es limitante de las presentes enseñanzas, se cree que el material particulado sólido experimenta los siguientes mecanismos de reacción con respecto al dióxido de carbono. El vapor de agua presente en el efluente de la fuente de combustión y el dióxido de carbono forman aniones carbonato en un entorno de pH básico. Los aniones carbonato reaccionan con iones de calcio en presencia de silicatos reactivos, formando carbonato de calcio. Se cree que la basicidad del entorno promueve la reacción de dióxido de carbono con óxido de calcio y silicatos, y se cree adicionalmente que favorece la formación de productos de silicatos reactivos en los materiales sólidos consumidos. El material sólido consumido sigue conteniendo silicatos reactivos y deseablemente es rico en iones de metal alcalino, que ayudan a mantener el pH. Se cree que la reacción de carbonatación reduce el pH (a condiciones más neutras) del material sólido, por tanto la alcalinidad del tercer componente adicional puede

ser deseable para regular el pH.

[0085] Con referencia renovada a las Figuras 3 y 4, uno o más dispositivos de control de la contaminación del aire 120 (DCCA) tratan adicionalmente la corriente 112 que ha salido del reactor 114. Como se aprecia por los especialistas en la materia, la corriente efluente comprende uno o más contaminantes adicionales distintos de SO_x, NO_x y/o CO₂. Por ejemplo, además de SO_x, NO_x y/o CO₂, los contaminantes del aire comunes encontrados en corrientes efluentes de calderas, hornos de cocción, hornos e incineradoras incluyen monóxido de carbono, ácido clorhídrico, clorofluorocarburos, material particulado, compuestos orgánicos, compuestos en aerosol, mercurio, plomo, amoníaco, ozono o combinaciones y equivalentes de los mismos. Por tanto, en algunas realizaciones, el reactor 114 puede servir para retirar secundariamente una parte de estos otros contaminantes, sin embargo, se contempla que puedan requerirse DCCA posteriores adicionales (120a de la Figura 3) para reducir el uno o más contaminantes adicionales a concentraciones aceptables. Los DCCA ejemplares típicos 120 incluyen precipitadores electrostáticos, filtros de manga, ciclones, lavadores de carbono activado, lavadores de desulfuración de gas de combustión, oxidantes térmicos, adsorbentes por oscilación de presión, reactores catalíticos selectivos, reactores no catalíticos selectivos y similares.

[0086] En ciertas realizaciones, tales como las mostradas en la Figura 4, el sistema de retirada de contaminación comprende adicionalmente uno o más dispositivos de control de la contaminación del aire 120a, 120b (DCCA) para pretratar la corriente efluente 112 antes de entrar en el reactor 114. Por tanto, puede retirarse cualquier contaminante adicional que pueda causar reacciones adversas o indeseables con el material particulado sólido o corrosión o daño del material de equipamiento. Después de tratamiento por el reactor 114 y los DCCA (120a y/o 120b), se dirige la corriente efluente 112 a una acumulación 122, que se ventila a la atmósfera.

[0087] En ciertos aspectos, la presente divulgación proporciona un procedimiento de reducción de las emisiones de SO_x, NO_x y CO₂ de una instalación de fabricación de cemento. El procedimiento comprende hacer reaccionar materiales brutos de la fabricación de cemento (que contienen fuentes de calcio, silicio, aluminio y hierro) en un horno de cocción, produciendo clínker y una corriente efluente que comprende SO_x, NO_x y CO₂. Se pone en contacto al menos una parte de la corriente efluente con un material particulado sólido tal como los descritos en realizaciones anteriores. Se genera un producto que comprende carbonato de calcio y/o sulfato de calcio. Cualquiera de los procesos de las realizaciones descritas anteriormente puede ser útil para las presentes realizaciones. Por ejemplo, antes de poner en contacto el efluente con material de lavado, puede procesarse la corriente efluente en uno o más dispositivos de control de la contaminación del aire (DCCA) para retirar uno o más contaminantes del aire. La caliza (concretamente, carbonato de calcio) es un material bruto usado en la fabricación de cal y cemento. De forma similar, se muele yeso (concretamente sulfato de calcio) con clínker de cemento Portland, formando cemento Portland. En ciertas realizaciones, el producto que comprende carbonato de calcio o sulfato de calcio se reutiliza beneficiosamente como material bruto, produciendo clínker y/o cal. Por tanto, en la fabricación del cemento, el carbonato de calcio generado se combina posteriormente con los materiales brutos produciendo clínker o el sulfato de calcio con clínker produciendo cemento.

[0088] Los procedimientos de la presente divulgación pueden reducir las emisiones de SO_x, NO_x y CO₂ de una instalación de fabricación de cemento y/o cal o de una instalación de fabricación de hierro y/o acero. El procedimiento comprende poner en contacto un material particulado sólido con al menos una parte de una corriente efluente que comprende SO_x, NO_x y CO₂ que se genera en un horno de un proceso de fabricación de hierro y/o acero. El horno puede ser cualquiera de los descritos anteriormente en el contexto de las fuentes de escoria, tal como un alto horno (procesamiento de mena de hierro), un horno de reverbero (procesamiento de acero), un horno de proceso de oxígeno básico (procesamiento de acero) o un horno de arco eléctrico (procesamiento de acero). El material particulado sólido comprende un componente aglutinante y un componente de escoria distinto del componente aglutinante. Se genera un producto que comprende carbonato de calcio que puede reutilizarse como material bruto en un proceso industrial. En ciertas realizaciones, el componente de escoria comprende una escoria generada en el proceso de fabricación de hierro y/o acero.

[0089] En aún otras realizaciones, se proporcionan procedimientos de reducción de emisiones de SO_x, NO_x y CO₂ de una fuente de combustión de hidrocarburos, tal como una caldera de central eléctrica o incineradora. Una fuente de combustión de hidrocarburos comprende todas las fuentes puntuales estacionarias que queman hidrocarburos que forman SO_x, NO_x y CO₂, incluyendo aquellas instalaciones que queman combustibles fósiles (por ejemplo, carbón, metano), combustibles sintéticos (por ejemplo, coque de petróleo, gas de síntesis, etanol) o cualquier otra variedad de hidrocarburos. El proceso comprende poner en contacto un material particulado sólido con al menos una parte de una corriente efluente que comprende SO_x, NO_x y CO₂ que se genera por combustión de un combustible fósil. El material particulado sólido es cualquiera de los descritos anteriormente. Se genera por tanto

un producto que comprende carbonato de calcio y/o sulfato de calcio que puede reutilizarse como material bruto en un proceso industrial. La invención se ha descrito con respecto a diversas realizaciones preferidas. Se dan realizaciones no limitantes adicionales en los ejemplos siguientes.

5 EJEMPLO I

[0090] Se forma un material peletizado sólido mezclando 10 % en peso de cemento Portland de tipo III (química y físicamente similar al cemento de tipo I, excepto porque se muele más fino produciendo mayores resistencias tempranas que oscilan de 320 a 670 m²/g de finura Blaine, generalmente mayores de aproximadamente 10 450 m²/g de finura Blaine) con 90 % de escoria de acero inoxidable en un mezclador. Se añade 30 % de agua a la mezcla (en base húmeda de 63 % de escoria y 7 % de cemento Portland) hasta que se forman partículas peletizadas que tienen un diámetro medio de partícula de aproximadamente 2 a 6 mm. Se disponen las partículas sólidas en un reactor de lecho empacado que tiene un lecho reactor dividido en tres etapas. El reactor es de aproximadamente 20 cm de diámetro y tiene una longitud de aproximadamente 91 cm. Se rellena el lecho del 15 reactor de tres etapas hasta una altura de aproximadamente 76 cm. Se opera un horno de combustión de carbón, generando un efluente que tiene un caudal de aproximadamente 1161 m³ por minuto y que contiene óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de carbono. La temperatura del efluente cuando entra por la entrada del reactor de lecho empacado es de aproximadamente 162 °C. En la corriente efluente que sale del reactor, se reduce la concentración de óxido de azufre en aproximadamente 85 % en comparación con la entrada 20 (por ejemplo, por cada 100 g que entran en el reactor, solo están 15 g de óxidos de azufre en la corriente de gas de salida), los óxidos de nitrógeno se reducen en aproximadamente 25 % y el dióxido de carbono se reduce en aproximadamente 31 %.

[0091] En diversas realizaciones, la presente divulgación proporciona procedimientos de reciclado de 25 subproductos industriales que de otro modo se acumularían, enterrarían o desecharían. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, se proporciona un procedimiento de reciclado de subproductos industriales. Se forma un material particulado sólido mezclando un primer componente fabricado con un segundo componente fabricado. El primer componente fabricado es un componente de escoria que tiene uno o más compuestos de silicato reactivos. El segundo componente fabricado es un componente aglutinante formado como corriente de desecho, por ejemplo 30 melaza. Se pone en contacto entonces una corriente efluente generada en un proceso industrial que comprende SO_x, NO_x y CO₂ con el material sólido. Se genera un producto que comprende carbonato de calcio y/o sulfato de calcio que puede reutilizarse beneficiosamente tal como en un proceso industrial. En algunas realizaciones, después de la puesta en contacto y después de la generación, se consume el material particulado sólido y puede reciclarse al 35 menos una parte del material particulado sólido consumido en un proceso de fabricación industrial.

[0092] De esta manera, los procedimientos de la divulgación proporcionan iniciativas de desarrollo sostenible que incluyen equilibrar la necesidad de crecimiento y desarrollo actual frente a la necesidad de proteger el entorno 40 natural y artificial para futuras generaciones. Adicionalmente, los procedimientos y sistemas de la divulgación proporcionan emisiones reducidas de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y/o dióxido de carbono para diversas fuentes puntuales estacionarias a baja temperatura, lo que además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, proporciona la capacidad de que dichas fuentes puntuales satisfagan diversas regulaciones, recibiendo un beneficio económico y comercial por los programas de comercio de créditos de emisión de dióxido de carbono y de que reduzcan la corrosión potencial y las ineficacias relacionadas con la presencia de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y/o dióxido de carbono en corrientes efluentes.

45

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de reducción de la contaminación generada por una fuente de combustión, comprendiendo el procedimiento:
- 5 poner en contacto una corriente de fluido que comprende óxidos de azufre y dióxido de carbono que sale de la fuente de combustión con un material sólido sustancialmente seco formado mezclando un componente de escoria que tiene uno o más compuestos de silicato reactivos con un componente aglutinante, en el que el componente de escoria está presente en el material sólido sustancialmente seco a 80 a 97 % en peso en base seca y el componente
- 10 aglutinante está presente a 3 a 20 % en peso en base seca, y el componente de escoria comprende dióxido de silicio a una cantidad mayor o igual a 25 % en peso y, antes de poner en contacto con la corriente de fluido, tiene una temperatura de menos de 316 °C, y en el que los óxidos de azufre presentes en la corriente de fluido se retiran después del contacto con una eficacia de retirada mayor o igual a 70 % en comparación con la cantidad inicial de óxidos de azufre presente en la corriente de fluido antes del contacto, y el dióxido de carbono presente en la
- 15 corriente de fluido se retira después del contacto con una eficacia de retirada mayor o igual a 20 % en comparación con la cantidad inicial de dióxido de carbono presente en la corriente de fluido antes del contacto, en el que opcionalmente la puesta en contacto reduce adicionalmente la cantidad de al menos un contaminante adicional seleccionado del grupo consistente en: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, clorofluorocarburos, ácido clorhídrico, material particulado, compuestos orgánicos volátiles, compuestos en aerosol, mercurio, plomo, amoniaco
- 20 y ozono.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende adicionalmente monitorizar la cantidad de óxidos de azufre en la corriente de fluido antes y después de la puesta en contacto.
- 25 3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el componente aglutinante comprende uno o más materiales seleccionados del grupo consistente en: cemento Portland, clínker de cemento, melaza, goma guar y almidón, y el componente de escoria comprende uno o más materiales seleccionados del grupo consistente en: escoria de carbono, escoria de alto horno enfriada con aire, escoria de alto horno granulada, escoria de alto horno granulada molida, escoria de alto horno expandida y/o peletizada, escoria de acero de horno de oxígeno básico,
- 30 escoria de acero de horno de reverbero y escoria de acero de horno de arco eléctrico, y el material sólido sustancialmente seco comprende adicionalmente un tercer componente que comprende una fuente de óxido de calcio y una fuente de iones de metal alcalino.
4. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el material sólido sustancialmente seco
- 35 comprende una pluralidad de partículas que tienen un tamaño de diámetro medio de partícula de 0,25 mm a 12 mm, y la puesta en contacto ocurre en un reactor de lecho empacado que contiene el material sólido sustancialmente seco, en el que el reactor tiene una presión diferencial medida desde la entrada del reactor de lecho empacado a la salida del reactor de lecho empacado menor o igual a 250 Pa.
- 40 5. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende adicionalmente reciclar la corriente de fluido para una puesta en contacto adicional después de la puesta en contacto inicial, proporcionando la retirada adicional de óxidos de azufre.
6. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la relación de componente de escoria a
- 45 componente aglutinante en el material sólido sustancialmente seco es de 6:1 a 99:1 en base seca.
7. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el mezclado comprende adicionalmente mezclar agua con el componente de escoria y el componente aglutinante.
- 50 8. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la temperatura es mayor o igual a 135 °C y menor o igual a 232 °C, y la eficacia de retirada de óxidos de azufre después de la puesta en contacto es mayor o igual a 80 %.
9. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que se introduce la corriente de fluido que sale de la
- 55 fuente de combustión en un reactor de lecho empacado, teniendo el reactor al menos una cámara que comprende partículas del material sólido sustancialmente seco que tiene un tamaño de diámetro medio de partícula de 0,25 a 12 mm, que se forman mezclando el componente de escoria con el componente aglutinante, y se pone en contacto la corriente de fluido con las partículas sólidas sustancialmente secas en el reactor.

10. El procedimiento según la reivindicación 9, en el que la corriente de fluido comprende adicionalmente óxidos de nitrógeno y el nivel de óxidos de nitrógeno en la corriente de fluido que sale del reactor es 20 % menor que el nivel de óxidos de nitrógeno inicial en la corriente efluente que entra en el reactor.

5 11. Un sistema de rebaja de la contaminación que comprende:

un reactor de lecho empacado que tiene una entrada para recibir una corriente efluente generada en una fuente de combustión que comprende óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono, presentes en la corriente efluente a una cantidad inicial, y una salida, teniendo el reactor al menos una cámara que comprende una pluralidad
10 de partículas sólidas sustancialmente secas que tienen un tamaño de diámetro medio de partícula de 0,25 a 12 mm, en el que las partículas sólidas sustancialmente secas se forman mezclando un componente de escoria que tiene uno o más compuestos de silicato reactivo con un componente aglutinante, **caracterizado porque** la cámara tiene un volumen para proporcionar suficiente tiempo de residencia para proporcionar una eficacia de retirada de óxido de azufre mayor o igual a 70 % en comparación con la cantidad inicial de óxidos de azufre presente en la corriente
15 efluente, una eficacia de retirada de dióxido de carbono mayor o igual a 20 % en comparación con la cantidad inicial de dióxido de carbono presente en la corriente efluente y una eficacia de retirada de óxidos de nitrógeno mayor o igual a 20 % en comparación con la cantidad inicial de óxidos de nitrógeno presente en la corriente efluente, y **porque** el componente de escoria está presente en las partículas sólidas sustancialmente secas a 80 a 97 % en peso en base seca, el componente aglutinante está presente a 3 a 20 % en peso en base seca y el componente de
20 escoria comprende dióxido de silicio a una cantidad mayor o igual a 25 % en peso.

12. El sistema de rebaja de la contaminación de la reivindicación 11, en el que el reactor de lecho empacado comprende dos o más cámaras y una válvula de derivación, en el que durante la operación una de las dos cámaras es una cámara activa que recibe la corriente efluente y contiene un primer cartucho desechable que
25 comprende una pluralidad de partículas sólidas sustancialmente secas y la otra de las dos cámaras es una cámara inactiva que contiene un segundo cartucho desechable que comprende una pluralidad de partículas sólidas sustancialmente secas, desviando la válvula de derivación la corriente efluente de la cámara inactiva.

13. El sistema de rebaja de la contaminación de la reivindicación 11, en el que el componente de escoria
30 comprende escoria de acero inoxidable y el componente aglutinante comprende cemento Portland y/o clínker de cemento.

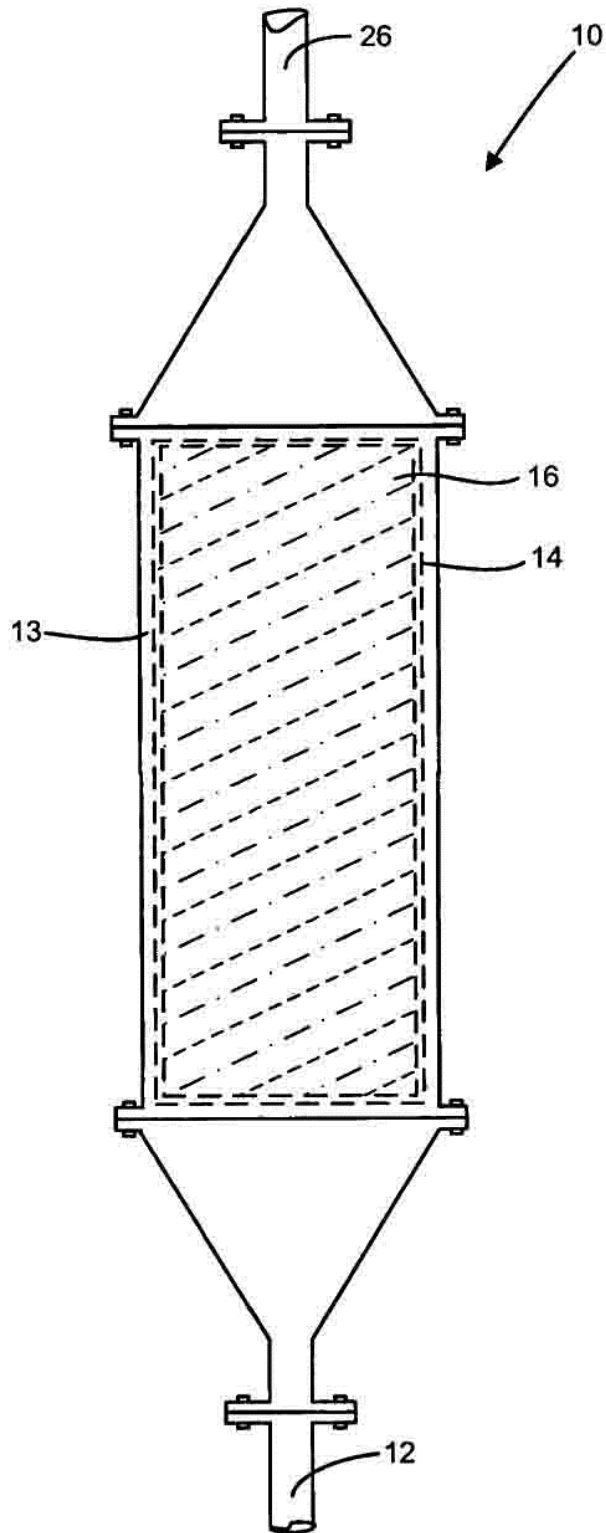


FIGURA 1

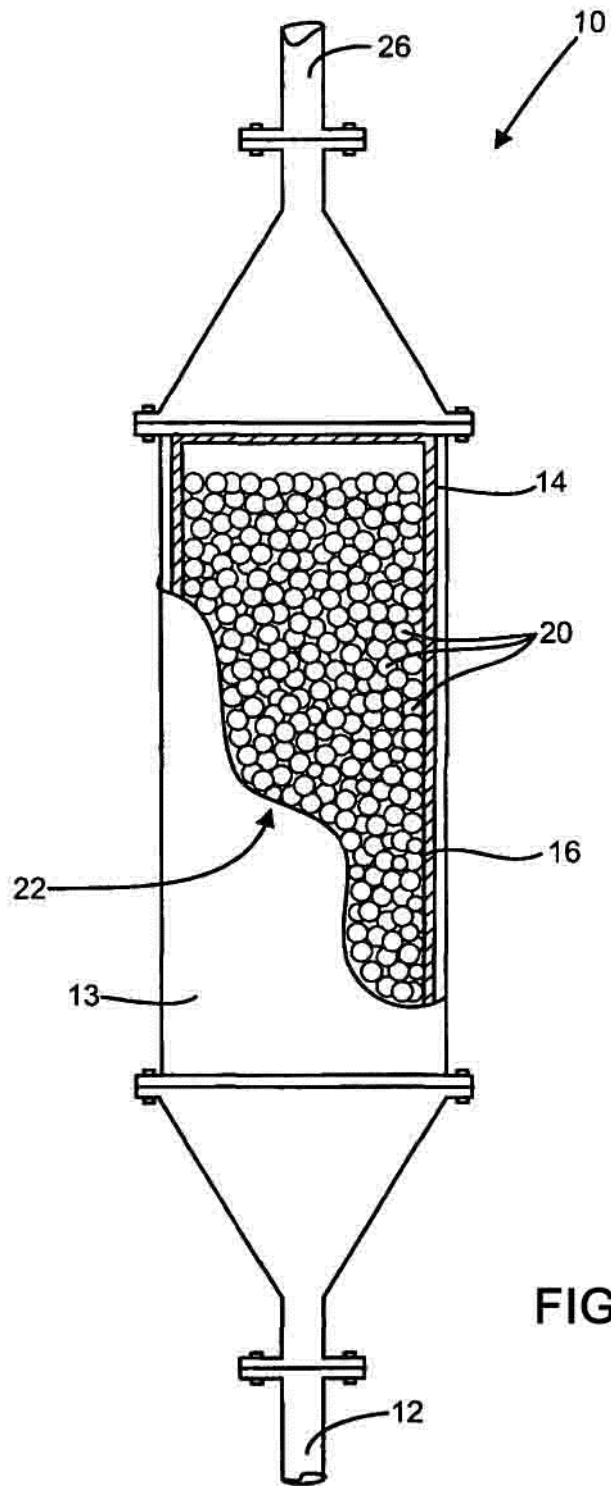


FIGURA 2

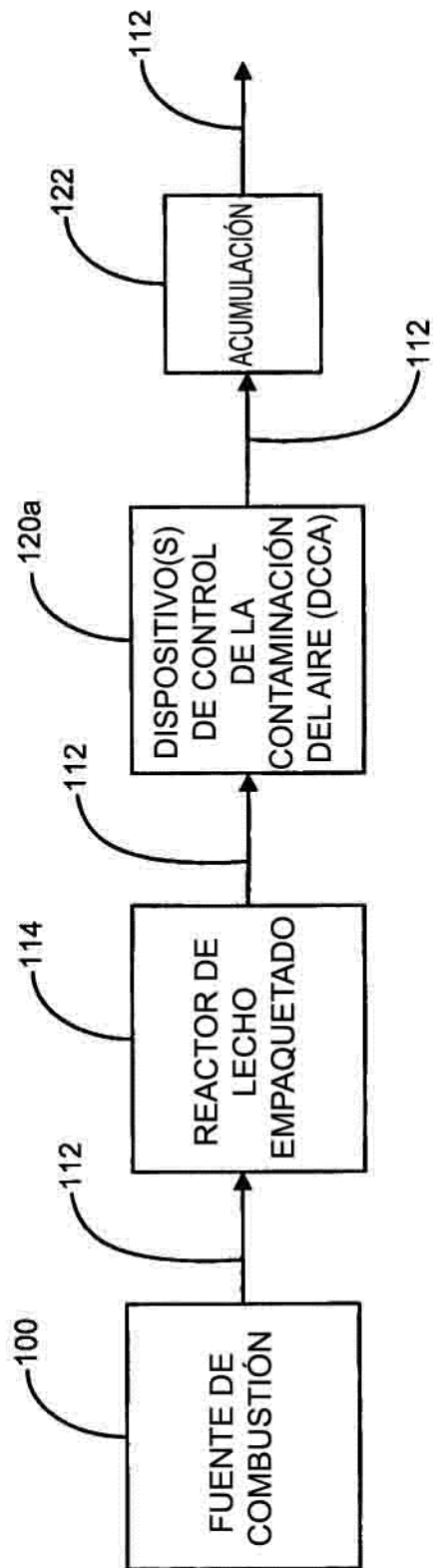


FIGURA 3

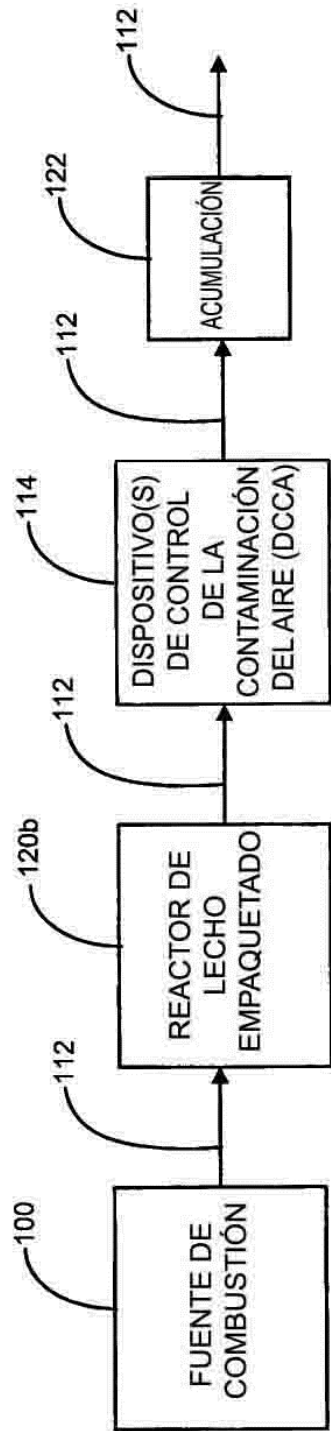


FIGURA 4

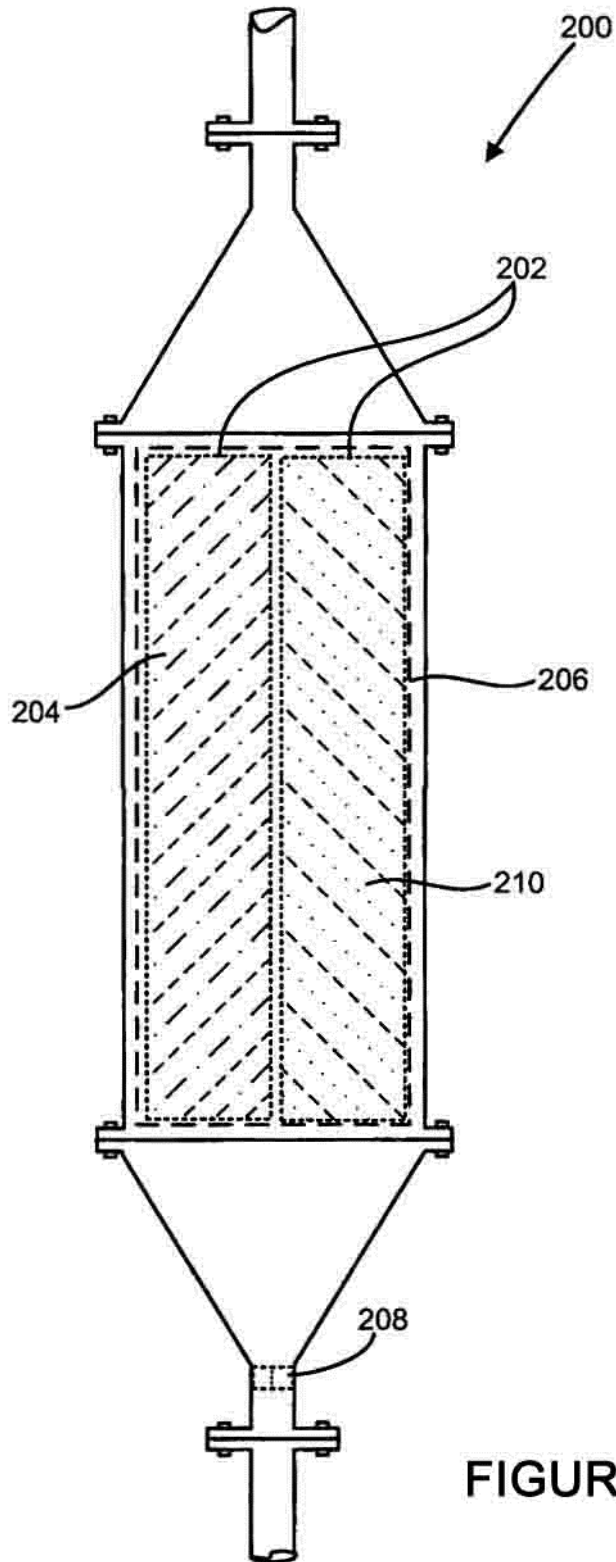


FIGURA 5