(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 445 340**

(51) Int. CI.:

B01D 53/62 (2006.01)
B01J 10/00 (2006.01)
C01F 11/02 (2006.01)
C01F 11/18 (2006.01)
C04B 2/00 (2006.01)
C04B 7/00 (2006.01)
C09K 3/00 (2006.01)
C04B 7/36 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.03.2007 E 11186174 (6)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2013 EP 2438978**

(54) Título: **Método para reciclar subproductos industriales**

(30) Prioridad:

10.03.2006 US 782325 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.03.2014

(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:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

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

DESCRIPCIÓN

Método para reciclar subproductos industriales

Campo

La presente descripción se refiere a procedimientos de reducción de emisiones y en particular, a procedimientos que secuestran dióxido de carbono de corrientes de fluido que contienen dióxido de carbono.

En diversos aspectos, la presente descripción proporciona métodos para secuestrar dióxido de carbono como contaminante presente en una corriente de fluido de efluente industrial que contiene dióxido de carbono. En un aspecto, un método comprende reducir una cantidad de dióxido de carbono en la corriente de fluido poniendo en contacto la corriente con un material de lavado. El material de lavado comprende un primer componente y un segundo componente. En algunos aspectos, la reacción se realiza en presencia de agua (por ejemplo, en suspensión o formas semi-secas). El primer componente es distinto del segundo componente. Además, el primer componente comprende una fuente de óxido de calcio y una fuente de iones de metal alcalino y el segundo componente comprende una escoria con uno o más compuestos de silicato reactivos.

Antecedentes

Las afirmaciones en esta sección proporcionan simplemente información de los antecedentes referida a la presente descripción y pueden no constituir técnica anterior.

Se cree que el cambio climático global (es decir, el calentamiento global) es debido a emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. La representación con modelo de los efectos de calentamiento global predice aumentos globales en la temperatura y los niveles del mar, desplazamientos en modelos atmosféricos y sucesos atmosféricos más extremos, incluyendo inundación y sequías. Los gases de efecto invernadero incluyen dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, vapor de agua, ozono y perfluorocarbonos/clorofluorocarbonos. Se ha estimado que el dióxido de carbono justifica aproximadamente el 84% de las emisiones de gases de efecto invernadero en los Estados Unidos en 2.000. La proporción de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y otros contaminantes del aire peligrosos está muy correlacionada con el crecimiento tanto económico como industrial y ha aumentado de manera significativa desde mediados de los años 80. Se genera típicamente CO_2 por combustión de hidrocarburos, combustibles fósiles y/o por diversos procedimientos industriales que generan subproducto de dióxido de carbono, incluyendo en la producción de cemento, cal, hierro y acero. La Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de los Estados Unidos (IPCC, por sus siglas en inglés) clasifican las emisiones basándose en combustión de combustible (que en su mayoría incluye vehículos a motor y centrales eléctricas) y otras fuentes industriales. El 97% de las emisiones de CO_2 antropogénicas en los Estados Unidos se atribuye a fuentes de combustión de combustibles fósiles, tales como centrales eléctricas, incineradoras y vehículos a motor. Otras fuentes localizadas significativas de dióxido de carbono incluyen fabricantes de cemento, cal e hierro/acero, todos los cuales generan abundante CO_2 durante el tratamiento, tanto como subproducto de reacción como por combustión de combustibles hidrocarbonados.

Además de ser un gas de efecto invernadero no deseable, el CO_2 presenta el potencial de crear problemas operacionales y económicos, ya que es un diluyente sin ningún valor de combustible. Es un gas ácido y puede causar problemas de corrosión en presencia de agua, creando ácido carbónico que puede ser bastante corrosivo para algunas aleaciones.

Por tratados internacionales, tales como el Protocolo de Kyoto, numerosas naciones se han comprometido a reducir las emisiones de diversos gases de efecto invernadero, incluyendo CO_2. En los Estados Unidos, se han centrado mucho tradicionalmente en desarrollar equipo para reducir con eficacia las emisiones contaminantes del aire regulados, tales como materia en forma de partículas, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. Sin embargo, el desarrollo de tecnología de reducción para emisiones de CO_2 no reguladas se ha quedado atrás de otras tecnologías de control. Sin embargo, como diversas naciones ponen en marcha regulaciones y programas comerciales que restringen la generación de diversos gases de efecto invernadero, en particular CO_2, hay una incipiente necesidad de tecnologías de reducción de CO_2 más eficaces y económicas.

Los métodos existentes para la eliminación de CO_2 de corrientes gaseosas incluyen absorción/adsorción química con sistemas de disolventes particulares (lavado de aminas), separación de membrana, fraccionamiento criogénico y/o adsorción usando tamices moleculares. En sistemas desechables, el material o los materiales activos realizarán un solo pase por el reactor/depurador y se desechan después. Los sistemas de un solo uso son menos deseables debido al gasto añadido y al mantenimiento asociado a la eliminación de cantidades mayores de material activo usado. Se diseñan sistemas regenerativos para regenerar el material activo, haciéndolo adecuado para posteriores pases productivos por el reactor. Los tamices moleculares, tales como zeolitas y carbón activado, se usan en sistemas de adsorción por oscilación de presión (PSA) o de adsorción por oscilación de temperatura, regenerativos, que separan mezclas gaseosas por adsorción selectiva de uno o más de los gases a alta presión y/o baja temperatura, para eliminar los componentes no deseados de una corriente de gases. Las impurezas capturadas se desorben después disminuyendo la presión, o aumentando la temperatura, del sistema adsorbente (así el sistema

"oscila" de una presión alta a baja o una temperatura baja a alta). La etapa de desorción regenera el material adsorbente para reutilización durante la etapa de adsorción posterior. Los sistemas PSA comprenden típicamente diversos lechos de adsorción, por los que se hace pasar la corriente de gases, permitiendo la separación de las especies gaseosas seleccionadas. Cada uno de los procedimientos anteriores presenta desventajas, incluyendo altas inversiones de capital y costes de operación, así como capacidad de rendimiento relativamente pequeña y baja eficacia de eliminación en algunos casos. Dichos sistemas son de coste potencialmente prohibitivo para diversas aplicaciones, en particular para instalaciones de producción de alto rendimiento que generan grandes cantidades de dióxido de carbono y otras emisiones.

Así, hay una necesidad de procedimientos que reduzcan las emisiones de CO_2 de gases de escape de fuentes fijas de una manera eficaz y además, son de coste eficaz. Adicionalmente, el equipo de reducción de las emisiones de CO_2 puede manipular preferiblemente caudales altos asociados a aplicaciones industriales al tiempo que se consiguen eficacias de eliminación deseables. Preferiblemente, dichos procedimientos de reducción son regenerativos y emplean recirculación para incorporar iniciativas de desarrollo sostenible.

La Patente de EE.UU. 2004/0129181 describe un procedimiento para producción de clínker de cemento incluyendo control de las emisiones de dióxido de carbono por un método que implica catalizar la hidratación de dióxido de carbono en una disolución de iones bicarbonato e iones hidrógeno.

Los iones bicarbonato se hacen reaccionar con iones Ca^{2+} obtenidos de una disolución de $CaCl_2$, polvo de horno de secado de cemento o sales de mar para precipitar un carbonato. Preferiblemente, el carbonato es $CaCO_3$ el cual se recicla convenientemente al proceso mediante la adición de $CaCO_3$ al proceso de producción de clínker de cemento.

La Patente Internacional WO 2006/099611, publicada el 21 de septiembre de 2006, describe composiciones sorbentes que contienen calcio, alúmina, sílice y halógenos utilizados combinados durante la combustión del carbón para, p. ej., reducir las emisiones de mercurio y azufre. En varias realizaciones, una composición sorbente alcalina en polvo contiene uno o más polvos que contienen calcio tales como cemento Portland, polvo de horno de secado de cemento, polvo de horno de secado de cal, diferentes escorias y cal de remolacha azucarera, junto con una arcilla de aluminosilicato. Se forma un producto cementoso que comprende polvillo de cenizas combinado con el polvo sorbente alcalino, el cual se puede emplear como un sustituto del cemento Portland ordinario en el hormigón. Debido a la reutilización del producto cementoso, se evita al menos parte de la producción del cemento Portland, se ahorra la energía requerida para producir el cemento y se evita la liberación de cantidades significativas de dióxido de carbono que se habrían desprendido de la producción del cemento.

Sumario

La invención se refiere a un proceso según la reivindicación 1.

En algunas realizaciones, el primer componente comprende un material seleccionado del grupo que consiste en: polvo de horno de secado de cemento (CKD, por sus siglas en inglés), polvo de horno de secado de cal (LKD, por sus siglas en inglés) y polvo de clínker. En algunas realizaciones, el segundo componente comprende un material seleccionado del grupo que consiste en escoria de alto horno y escoria de acero. Entre los ejemplos de material de la escoria adecuados se incluyen: 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, escoria de acero de horno de corazón abierto, escoria de acero de horno de arco eléctrico y cualquier mezcla de los mismos. El segundo componente puede comprender opcionalmente una escoria de acero inoxidable procedente de un horno de producción y/o tratamiento de acero inoxidable. En algunas realizaciones, el primer componente comprende polvo de horno de secado de cemento (CKD) y el segundo componente comprende una escoria de acero inoxidable. En diversos aspectos, los métodos producen un producto que comprende carbonato de calcio y material de lavado usado. En algunas realizaciones, el producto de carbonato de calcio se recicla como materia prima en un procedimiento industrial. Un ejemplo de dicho reciclado es usar el producto de carbonato de calcio como una materia prima para producir cemento o producir cal. El producto de carbonato de calcio se puede usar opcionalmente como un material fluidificante en el tratamiento de hierro y/o acero.

En otras realizaciones se proporciona un método para reciclar subproductos industriales. Se forma un material de lavado de dióxido de carbono mezclando un primer componente producido con un segundo componente producido. El primer componente comprende una fuente de óxido de calcio y una fuente de iones de metales alcalinos. El segundo componente comprende una escoria que tiene uno o más productos de silicatos reactivos. Una corriente de efluente generada en un proceso industrial que comprende dióxido de carbono se pone en contacto a continuación con el material de lavado. Se genera un producto que comprende carbonato de calcio que es capaz de una reutilización conveniente, tal como, en un proceso industrial. En ciertas realizaciones, tras la puesta en contacto y tras la generación, se usa el material de lavado y al menos una porción del material de lavado usado se mezcla con el primer componente producido fresco y el segundo componente producido fresco.

En otros diversos aspectos, la descripción proporciona métodos para reducir las emisiones de dióxido de carbono de corrientes de efluentes generadas por fuentes de combustión fijas (por ej., calderas, incineradoras), hornos de secado de cemento, hornos de secado de cal, hornos de hierro y hornos de acero. De esta manera, diversos

aspectos de la descripción proporcionan un medio eficaz para eliminar las emisiones de dióxido de carbono, controlando así las emisiones de gases de efecto invernadero, al tiempo que se recicla además al menos un subproducto industrial y preferiblemente múltiples materiales subproducto, para formar un producto útil.

A partir de la descripción que se proporciona en la presente resultarán evidentes más áreas de aplicabilidad.

Dibujos

Los dibujos descritos en la presente poseen únicamente un carácter ilustrativo y con ellos no se pretende limitar el alcance de la presente descripción en modo alguno.

La Figura 1 es un diagrama de flujo del procedimiento ejemplar para un sistema de secuestro de dióxido de carbono según algunas realizaciones de la descripción;

La Figura 2 es una ilustración esquemática de una realización de la presente descripción que muestra un sistema de reducción de emisiones de dióxido de carbono con un reactor de torre depuradora;

La Figura 3 es un diagrama de flujo del procedimiento para algunas realizaciones de la descripción que muestra un sistema de eliminación de dióxido de carbono, donde una corriente de efluente tratada que sale de un dispositivo de eliminación de dióxido de carbono se trata además con un dispositivo de control de la contaminación del aire para eliminar uno o más contaminantes adicionales distintos de dióxido de carbono y

La Figura 4 es un diagrama de flujo del procedimiento para algunas otras realizaciones de la descripción que muestra un sistema de eliminación de dióxido de carbono, donde se trata previamente una corriente de efluente por un dispositivo de control de la contaminación del aire para eliminar uno o más contaminantes previamente a entrar en un dispositivo de eliminación de dióxido de carbono.

Descripción detallada

Se debería entender que por los dibujos, los correspondientes números de referencia indican partes y características similares o correspondientes.

En diversos aspectos, las explicaciones de la descripción proporcionan un procedimiento para reducir una cantidad de dióxido de carbono gaseoso presente en una corriente de fluido por secuestro o lavado de dióxido de carbono de la fase gaseosa de la corriente de fluido. En algunas realizaciones, la corriente de fluido comprende un gas y/o vapor, pero también puede haber ocluido sólidos y/o líquidos, tales como materiales en forma de partículas ocluidos, gotitas de líquido y/o aerosoles. En diversas realizaciones, la corriente de fluido es una corriente de efluente o una corriente de escape generada en un procedimiento industrial. La corriente de fluido se pone en contacto con un material de lavado o secuestro de dióxido de carbono para eliminar dióxido de carbono. Después de contacto con el material de lavado, se reduce la cantidad de dióxido de carbono presente en la corriente de fluido. En algunas realizaciones, el dióxido de carbono reacciona con el material de lavado para formar un producto útil que se describirá con más detalle a continuación.

En diversos aspectos, el material de lavado comprende un primer componente, un segundo componente y agua. El primer componente es distinto del segundo componente. En diversas realizaciones, el primer componente comprende una fuente de óxido de calcio y una fuente de iones de metal alcalino. El segundo componente comprende una escoria con uno o más compuestos de silicato reactivos. El material de lavado reacciona con dióxido de carbono para formar un producto que comprende carbonato de calcio y material de lavado usado.

En diversas realizaciones, el primer componente del material de lavado comprende óxido de calcio (CaO). Además, se prefiere que el primer componente también comprenda una fuente de iones de metal alcalino, tales como iones sodio y/o potasio, por ejemplo. En algunas realizaciones, el primer componente comprende un material que se genera o produce en un procedimiento industrial. Como se describirá con más detalle a continuación, algunas realizaciones emplean una reutilización beneficiosa para materiales de desecho que se desecharían, acumularían o verterían de otro modo. Sin embargo, diversas fuentes adecuadas de óxido de calcio e iones de metal alcalino pueden ser materiales que se encuentran en la naturaleza, tales como minerales, o pueden ser productos comerciales producidos. En diversos aspectos, el primer componente comprende un material seleccionado del grupo que consiste en: polvo de horno de secado de cemento, polvo de horno de secado de cal, cal de remolacha azucarera, polvo de clínker, cal apagada, cal viva y cualquier mezcla de los mismos. Dichas mezclas incluyen cualquier combinación de dos o más componentes. En algunas realizaciones, el primer componente comprende un material seleccionado del grupo que consiste en: polvo de horno de secado de cemento, polvo de horno de secado de cal, cal de remolacha azucarera y mezclas de los mismos. En otras realizaciones, el primer componente comprende polvo de horno de secado de cal. En algunas realizaciones, el primer componente comprende polvo de horno de secado de cemento. Dichos materiales no limitantes son fuentes adecuadas de óxido de calcio e iones de metal alcalino para uso en los materiales de lavado. El primer componente puede comprender otras fuentes de óxido de calcio e iones de metal alcalino, incluyendo como ejemplo, lodo de plantas de tratamiento de aguas residuales, lodo de pulpa y papel, subproductos de la producción de carburo de calcio y otros materiales que proporcionan óxido de calcio e iones de metal alcalino, ya que son conocidos para el experto.

Como aprecia un experto en la materia, muchas de las fuentes de óxido de calcio e iones de metal alcalino pueden presentar composiciones variadas, dependiendo del procedimiento particular en que se fabrican; las composiciones específicas de las materias primas y combustibles que se emplean para producir la fuente; las condiciones y la duración en que se almacena o acumula el material; así como una variedad de factores diferentes.

Con respecto a esto, en algunas realizaciones, el primer componente comprende preferiblemente uno o más ingredientes activos seleccionados del grupo que consiste en: CaO, K_2O, Na_2O y mezclas de los mismos. En algunas realizaciones, el primer componente comprende uno o más ingredientes activos seleccionados del grupo que consiste en: CaO, Na_2O, K_2O y mezclas de los mismos, donde una cantidad total de los ingredientes activos presentes en el material de lavado está a aproximadamente 30% a aproximadamente 60% en peso. El primer componente comprende opcionalmente compuestos activos adicionales además del óxido de calcio y óxidos alcalinos y dichos ingredientes activos no están restringidos a los citados anteriormente.

En algunos aspectos, el primer componente comprende óxido de calcio (CaO) en más de o igual a aproximadamente 30% en peso. Como se usa en la presente memoria, todos los porcentajes son sobre una base en peso, a menos que se indique de otro modo. Se debería observar que las composiciones químicas de diversos materiales descritos en la presente memoria se expresan en términos de óxidos simples calculados de análisis elemental, determinado típicamente por técnicas de fluorescencia de rayos X. Mientras los diversos óxidos simples pueden estar presentes, y con frecuencia están, en compuestos más complejos en el material, el análisis de óxidos es un método útil para expresar la concentración de compuestos de interés en las composiciones respectivas.

En algunas realizaciones, el primer componente comprende cal libre (CaO libre) en más de o igual a aproximadamente 3% en peso. "Cal libre" se refiere al óxido de calcio libre (CaO libre) fácilmente disponible en un material para una reacción de hidratación con agua. La cal no apagada, también referida como cal viva, contiene una alta concentración de cal u óxido de calcio (CaO) (libre) deshidratado que puede experimentar reacción con agua, es decir, apagado. Por contraste, ya se ha hecho reaccionar una cal apagada o hidratada con agua para formar $Ca(OH)_2$. El contenido en cal libre se usa con frecuencia como indicador de la reactividad de los materiales que contienen óxido de calcio. En algunas realizaciones de la descripción, la cal libre puede ser aproximadamente 5% o incluso mayor.

En algunas realizaciones, el primer componente comprende preferiblemente una cantidad de fuente de iones alcalinos en forma de óxido de sodio (Na_2O) y/u óxido de potasio (K_2O) en más de o igual a aproximadamente 1% en peso. Se debería observar que algunos iones de metal alcalino se complejan con diversos aniones complejos, tales como sulfatos, sin embargo, un análisis típico de contenido alcalino expresa los óxidos y sulfatos de metales alcalinos de manera individual. En algunas realizaciones, la cantidad de fuente de iones alcalinos en forma de óxido de sodio (Na_2O) y/u óxido de potasio (K_2O) es mayor que o igual a aproximadamente 3% en peso; opcionalmente mayor que o igual a aproximadamente 4% en peso. El contenido en álcali de diversos materiales puzolánicos y/o cementosos también se puede expresar como un equivalente de sodio (Na_2O_e) que justifica la presencia de tanto Na_2O como K_2O calculado por la ecuación:

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

en que z es el equivalente de sodio Na_2O_e, x es la cantidad de Na_2O presente en la composición e y es la cantidad de K_2O presente en la composición. Dichos equivalentes de sodio Na_2O_e pueden oscilar de mayor que 0,01%, a mayor que o igual a aproximadamente 1% en peso, opcionalmente mayor que o igual a aproximadamente 2% en peso, opcionalmente mayor que o igual a aproximadamente 3% en peso y en algunas realizaciones, mayor que o igual a aproximadamente 5% en peso.

Como se describirá con mayor detalle a continuación, los iones de metal alcalino fomentan las condiciones de reacción deseables para el material de lavado, de manera que proporcionan un alto pH que se cree que proporciona una velocidad de reacción más rápida y favorece la formación de productos preferidos en la reacción de material de lavado con dióxido de carbono.

En algunas realizaciones, el primer componente presenta una composición como se explica en la Tabla I, no incluye impurezas y diluyentes.

Tabla I

Óxido	% en Peso Aproximado
Óxido de Calcio (CaO)	30 - 45
Sílice (SiO_2)	10-20
Óxido de Aluminio (Al_2O_3)	2-7
Óxido de Hierro (Fe_2O_3)	1-3
Óxido de Magnesio (MgO)	0,5-3
Sulfato (SO_3)	1 - 15
Óxido de Sodio (Na_2O)	0,1 -1
Óxido de Potasio (K_2O)	0,1-15

En algunas realizaciones, el primer componente comprende preferiblemente polvo de horno de secado de cemento (CKD), que en general se refiere a un subproducto generado en un horno de secado de cemento o equipo de tratamiento relacionado durante la producción de cemento portland. Se puede producir cemento portland en un horno de secado de procedimiento húmedo o uno seco. Mientras difieren los procedimientos húmedo y seco, ambos procedimientos calientan la materia prima en fases. Las materias primas de producción de cemento comprenden fuentes de calcio, sílice, hierro y alúmina y normalmente incluyen piedra caliza, así como una variedad de otros materiales, tales como arcilla, arena y/o pizarra, por ejemplo.

La primera fase de producción de cemento es una fase de precalentamiento que expulsa toda la humedad de las materias primas, elimina agua de hidratación y eleva la temperatura del material hasta aproximadamente 1.500°F (aproximadamente 800°C). La segunda fase es la fase de calcinación que tiene lugar en general entre aproximadamente 1.500°F y 2.000°F (aproximadamente 1.100°C), donde la piedra caliza ($CaCO_3$) se convierte en cal (CaO) expulsando dióxido de carbono (CO_2) en una reacción de calcinación. Las materias primas se calientan después a una temperatura máxima de entre aproximadamente 2.500°F y 3.000°F (aproximadamente 1.400°C a 1.650°C) en una zona de combustión, donde sustancialmente funden y fluyen, formando así compuestos inorgánicos, tales como silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y aluminoferrita de tetracalcio. Un análisis típico de productos de cemento portland muestra que contienen aproximadamente 65-70% de CaO, 20% de SiO_2, 5% de Al_2O_3, 4% de Fe_2O_3, con menores cantidades de otros compuestos, tales como óxidos de magnesio, azufre, potasio, sodio y similares. La materia prima fundida se enfría para que solidifique en un producto intermedio en pequeños grumos, conocido como "clínker" que se elimina con posterioridad del horno de secado. Después se muele finamente el clínker y se mezcla con otros aditivos (tales como un retardante de fraguado, yeso) para formar cemento portland, que se puede mezclar después con agregados y agua para formar hormigón.

En general, el CKD comprende una combinación de diferentes partículas generadas en diferentes áreas del horno de secado, equipo de pretratamiento y/o sistemas de manipulación de materiales, incluyendo por ejemplo, polvo de clínker, polvo de material calcinado parcialmente a totalmente y polvo de materia prima (hidratado y deshidratado). Como apreciarán los expertos en la materia, la composición de los CKD varía basándose en las materias primas y los combustibles usados, las condiciones de producción y tratamiento y la posición de puntos de recogida para CKD en el procedimiento de producción de cemento. El CKD puede incluir polvo o materia en forma de partículas recogida de corrientes de efluente del horno de secado (es decir, escape), efluente más fresco de clínker, efluente precalcinador, dispositivos de control de la contaminación del aire y similares. Polvo más fresco de clínker se refiere a polvo recogido en las áreas más frescas del clínker del horno de secado y tiene típicamente una composición química que es muy similar a cemento portland.

Al tiempo que las composiciones del CKD variarán para diferentes hornos de secado, el CKD normalmente tiene al menos algunas propiedades cementosas y/o puzolánicas, debido a la presencia del polvo de clínker y materiales calcinados. Las composiciones de CKD típicas comprenden compuestos que contienen silicio, tales como silicatos incluyendo silicato tricálcico, silicato dicálcico; compuestos que contienen aluminio, tales como aluminatos incluyendo aluminato tricálcico y compuestos que contienen hierro, tales como ferritas incluyendo aluminoferrita de tetracalcio. El CKD en general comprende cantidades relativamente altas de óxido de calcio (CaO). Las composiciones de CKD ejemplares comprenden óxido de calcio en aproximadamente 10 a aproximadamente 60% en peso, opcionalmente aproximadamente 25 a aproximadamente 50% en peso y opcionalmente 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 aproximadamente 3 a aproximadamente 5%. Además, el CKD comprende típicamente iones de metal alcalino de sodio y potasio respectivamente en aproximadamente 0,1 a aproximadamente 10% en peso y opcionalmente aproximadamente 0,2 a aproximadamente 5% en peso. El CKD puede comprender iones adicionales de metal alcalino, iones de metal alcalino-térreo y azufre, entre otros**.** El CKD también comprende típicamente sílice (SiO_2) en aproximadamente 10 a aproximadamente 20% en peso, alúmina (Al_2O_3) en aproximadamente 2 a aproximadamente 7% en peso y óxido de hierro (Fe_2O_3) en aproximadamente 1 a aproximadamente 3% en peso.

Los polvos de CKD ejemplares presentan intervalos de densidad específica de aproximadamente 2,6 a 2,8, un tamaño de partícula máximo de aproximadamente 0,30 mm (300 µm) y finura Blaine (superficie específica) que oscila de aproximadamente 4.600 a aproximadamente 14.000 cm^2/g.

En algunas realizaciones, el primer componente del material de lavado de la descripción comprende cal (es decir, cal viva) o polvo de horno de secado de cal (LKD). El LKD es un subproducto de la producción de cal. El LKD es polvo o materia en forma de partículas recogida de un horno de secado de cal o equipo de tratamiento asociado. La cal producida se puede clasificar como cal de alto contenido en calcio o cal dolomítica y el LKD varía basándose en los procedimientos que lo forman. La cal se produce con frecuencia por una reacción de calcinación realizada calentando materia prima calcítica, tal como carbonato de calcio ($CaCO_3$), para formar cal libre CaO y dióxido de carbono (CO_2). La cal de alto contenido en calcio presenta una alta concentración de óxido de calcio y típicamente algunas impurezas, incluyendo compuestos que contienen aluminio y que contienen hierro. La cal de alto contenido en calcio se forma típicamente de carbonato de calcio de alta pureza (aproximadamente 95% de pureza o mayor). El contenido en óxido de calcio típico en un producto de LKD procedía de tratamiento de cal de alto contenido en calcio es similar a la concentración de óxido de calcio en el propio producto de cal y puede ser mayor que o igual a aproximadamente 75% en peso, opcionalmente mayor que o igual a aproximadamente 85% en peso y en algunos casos mayor que o igual a aproximadamente 90% en peso. En alguna producción de cal, se descompone dolomita ($CaCO_3.MgCO_3$) por calentamiento para generar principalmente óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO), formándose así lo que se conoce como cal dolomítica. En la cal o LKD generado por tratamiento de cal dolomítica, puede estar presente óxido de calcio en más de o igual a aproximadamente 45% en peso, opcionalmente mayor que o igual a aproximadamente 50% en peso y en algunas realizaciones, mayor que o igual a aproximadamente 55% en peso. Mientras que tanto la cal como el LKD varían basándose en el tipo de tratamiento de la cal empleado, presentan en general concentraciones relativamente altas de cal libre. Cantidades típicas de cal libre en dichos productos de cal o LKD son aproximadamente 10 a aproximadamente 50%, opcionalmente aproximadamente 20 a aproximadamente 40%.

Además, los productos de LKD y cal comprenden típicamente iones de metal alcalino de sodio y potasio en las cantidades respectivas de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 1% en peso y opcionalmente aproximadamente 0,03 a aproximadamente 0,25% en peso. La cal y/o el LKD pueden comprender iones adicionales de metal alcalino, iones de metal alcalino-térreo (tales como el MgO descrito anteriormente) y azufre, entre otros. El LKD también comprende sílice (SiO_2) en aproximadamente 1 a aproximadamente 10% en peso, alúmina (Al_2O_3) en aproximadamente 0,1 a aproximadamente 5% en peso y óxido de hierro (Fe_2O_3) en aproximadamente 0,5 a aproximadamente 2% en peso. Los LKD ejemplares presentan densidad específica que oscila de aproximadamente 2,6 a 3,0, un tamaño de partícula máximo de aproximadamente 2 mm (2.000 µm) y finura Blaine (superficie específica) que oscila de aproximadamente 1.300 a aproximadamente 10.000 cm^2/g.

Otro material ejemplar para uso como un primer componente del material de lavado de la presente descripción es un subproducto de cal de refinado de azúcar. Se usa cal en la producción de azúcar procedente de caña de azúcar, remolachas azucareras, savia de arce y sorgo. Por ejemplo, se cosecha caña de azúcar y remolachas azucareras y se tratan con agua para formar zumo bruto, que tiene pH bajo y contiene impurezas disueltas. El zumo de azúcar contiene así sacarosa, pulpa, diversos no azúcares, por ej., sales orgánicas e inorgánicas, aminoácidos, colorantes 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 para formar compuestos orgánicos de calcio insolubles que se pueden eliminar. En un método de purificación de azúcar convencional, se añaden cal (CaO) y dióxido de carbono (CO_2), que da como resultado la formación de un precipitado (lodo) que consiste en carbonato de calcio y parte de los componentes no azúcares ya mencionados. El lodo deshidratado comprende óxido de calcio (CaO), normalmente en forma hidratada ($Ca(OH)_2$). El zumo de azúcar se puede refinar sucesivamente además de esta manera. Las remolachas azucareras tienden a requerir la cantidad más grande de refinamiento con cal y el subproducto de lodo se refiere en general como "cal de remolacha azucarera." Sin embargo, el uso del término "cal de remolacha azucarera" es simplemente representativo de la clase de los subproductos de cal de tratamiento del azúcar que son adecuados para uso en los materiales de lavado de la descripción.

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

Así, el primer componente del material de lavado puede comprender cualquier fuente adecuada de óxido de calcio e iones de metal alcalino. El primer componente puede comprender opcionalmente un único material adecuado o mezclas de materiales adecuados que proporcionan óxido de calcio e iones de metal alcalino en las concentraciones deseadas.

Los materiales de la escoria son subproductos industriales de producción de metal. En diversas realizaciones, el segundo componente del material de lavado comprende tal material de escoria que proporciona un silicato reactivo. Los silicatos están típicamente en una forma tetraédrica que se puede unir en 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. En general, el silicio y oxígeno están en forma de Si_xO_y, donde x es en general 1 ó 2 e y puede oscilar de 2 a 7 (es decir, SiO_2, SiO_3, SiO_4 y Si_2O_7). Mientras muchos silicatos son insolubles o estables en agua, se cree que las condiciones básicas y las temperaturas aumentadas facilitan mayor solubilidad y/o reactividad de algunos 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 se compleja el anión silicato (por ejemplo, los elementos de iones de metal alcalino del Grupo IA y NH_4+ tienden a formar silicatos solubles en agua).

Algunas especies de silicatos son más reactivas con especies iónicas y pueden presentar mayor solubilidad en agua, donde se cree que dichos silicatos se ionizan para formar iones SiO^-. Por ejemplo, los silicatos pueden formar diversas estructuras cristalinas, que oscilan de fases cristalinas y muy ordenadas (por ejemplo, cuarzo) a fases cripto-cristalinas (por ejemplo, estructuras cristalinas extremadamente finas como calcedonia) a fases amorfas o estructuras no cristalinas vítreas (por ejemplo, ópalo). Se cree que las estructuras de red amorfas permiten mayor ataque iónico y descomposición de la red de silicato. Así, las fases muy ordenadas y bien cristalizadas son estables y no reactivas, como donde las redes de silicato cripto-cristalinas y amorfas son susceptibles de ataque debido a estructuras de red desordenada y abierta, por lo tanto dichos silicatos son reactivos.

Según diversas realizaciones de la descripción, el segundo componente del material de lavado comprende silicatos reactivos. Aunque no estando limitado a ninguna teoría por la que operen las presentes explicaciones, se cree que algunas fases cristalinas de silicato dicálcico (2 $CaO{\cdot}SiO_2$ expresado típicamente con símbolos como C_2S) y silicato tricálcico (3 $CaO{\cdot}SiO_2$ expresado típicamente con símbolos como C_3S), en particular las fases cristalinas γ-C_2S, β-C_2S y C_3S, son silicatos reactivos que se pueden formar en materiales de escoria y reaccionar así convenientemente con dióxido de carbono en presencia de agua. Por compuesto de silicato reactivo, se quiere decir que más del 10% de los compuestos de silicato totales presentes en un material reaccionará con dióxido de carbono en presencia de agua a 25°C (77°F) y presión atmosférica a pH mayor que o igual a aproximadamente 9.

Además, según diversas realizaciones de la descripción, dichos compuestos de silicato presentan mayor reactividad en agua cuando el pH es básico. Preferiblemente, el pH del material de lavado es mayor que o igual a aproximadamente 7, más preferiblemente mayor que o igual a aproximadamente 9 y en algunas realizaciones aproximadamente 11 hasta aproximadamente 14 para mejorar la solubilidad de compuesto de silicato. Prácticamente, el pH en dichos sistemas no excede normalmente de aproximadamente 13. Las temperaturas aumentadas también aumentan la solubilidad de compuestos de silicato en agua. Según diversas realizaciones de la descripción, se prefiere que la escoria de la segunda composición comprenda más de o igual a aproximadamente 5% de silicatos reactivos, opcionalmente más de o igual a aproximadamente 10%; opcionalmente más de o igual a aproximadamente 15% de silicatos reactivos en peso.

Diversos materiales de escoria comprenden silicatos de calcio. Preferiblemente, al menos una porción de estos silicatos de calcio son reactivos con dióxido de carbono y/u óxido de calcio en presencia de agua en los materiales de lavado de las diversas realizaciones de la descripción. Como se describió anteriormente, el primer componente del material de lavado comprende preferiblemente tanto una fuente de óxido de calcio como iones de metal alcalino, que proporcionan un pH alcalino o básico en el material de lavado para mejorar la solubilidad de los compuestos de silicato reactivos.

A modo de antecedente, las escorias son en general compuestos subproducto generados por producción y tratamiento de metal. El término "escoria" incluye una amplia variedad de materiales subproducto, que comprende típicamente una porción grande de los subproductos no metálicos de producción y tratamiento de metal ferroso y/o acero. En general, las escorias, o materiales fluidificantes, se añaden a los hornos para remover las impurezas del mineral de hierro fundido, fragmento de acero, stock de alimentación de hierro y/o acero durante el tratamiento. Son materiales fluidificantes típicos piedra caliza ($CaCO_3$) y/o dolomita ($CaCO_3.MgCO_3$). La escoria fundida forma como una masa fundida de silicato que flota en la parte de arriba del horno que se enfría para formar silicatos y óxidos complejos. La composición de escoria depende del metal que se esté tratando en el horno y con frecuencia contiene sulfuros de metal y átomos de metal en una forma elemental. La composición y las propiedades de la escoria también varían basándose en el tipo de horno y el tratamiento posterior, que puede afectar no sólo a la composición química, sino a la cristalinidad, desarrollo de fases y morfología superficial que puede impactar en la reactividad. Por ejemplo, como se discutió anteriormente, se prefiere que se forme una o más fases de silicato reactivas en la escoria, tales como γ-C_2S, β-C_2S y C_3S. Además, el tamaño de partícula, la porosidad y la superficie de la escoria afectan a la reactividad, ya que cuanto menor tamaño de partícula, mayor porosidad y por lo tanto los materiales de mayor superficie permiten mayor exposición a CO_2 y agua para facilitar mayor reacción.

Los altos hornos tratan mineral de hierro para formar arrabio refinado. Las escorias de alto horno se forman en general en tres tipos principales: enfriadas al aire, granuladas y peletizadas (o expandidas). La escoria de alto horno enfriada al aire se forma dejando que se enfríe relativamente lentamente la escoria fundida en condiciones ambientales, mientras el enfriamiento final se puede acelerar con un procedimiento de enfriamiento, tal como pulverización de agua. La escoria granulada se forma enfriando rápidamente la escoria fundida en agua, formando así pequeñas partículas de vidrio de estructura desordenada. Dicha escoria granulada se muele con frecuencia además, mejorándose de ese modo las propiedades cementosas del material. La escoria peletizada o expandida se enfría por un chorro de agua, que conduce a generación rápida de vapor que desarrolla estructuras vesiculares extensas en el material.

Las escorias de acero se forman durante el tratamiento adicional de arrabio y otros materiales de acero en hornos de fabricación de acero. Los hornos de acero típicos incluyen hornos de tratamiento con oxígeno básico (BOF, por sus siglas en inglés), hornos de corazón abierto (OHF, por sus siglas en inglés) y hornos de arco eléctrico (EAF, por sus siglas en inglés). La mayor parte del acero se fabrica ahora en plantas de acero integradas usando una versión del procedimiento con oxígeno básico o en plantas de aceros específicos que usan un procedimiento en horno de arco eléctrico. Los procedimientos en hornos de corazón abierto son menos frecuentes. En un procedimiento con oxígeno básico ejemplar, el metal de alto horno líquido caliente, residuo de fabricación y fluidizantes se cargan en un convertidor (horno). Se reduce una lanza en el convertidor y se inyecta oxígeno a alta presión. El oxígeno se combina con y elimina las impurezas en la carga. Estas impurezas consisten en carbono como monóxido de carbono gaseoso y silicio, manganeso, fósforo y algún hierro como óxidos líquidos, que se combinan con cal y/o dolomita para formar la escoria de acero. Al final de la operación de refinado, se vierte el acero líquido en un cucharón mientras se retiene la escoria de acero en el recipiente y se deriva con posterioridad a una marmita para escoria separada.

Se pueden producir muchos tipos diferentes de acero y las propiedades de la escoria de acero pueden cambiar significativamente con cada tipo. Los tipos de acero se pueden clasificar como alto, medio y bajo, dependiendo del contenido en carbono del acero. Los aceros de tipo alto tienen alto contenido en carbono. Para reducir la cantidad de carbono en el acero, se requieren mayores niveles de oxígeno en el procedimiento de fabricación del acero. Esto también requiere la adición de niveles aumentados de material fluidificante para la eliminación de impurezas del acero y formación aumentada de escoria.

La escoria de horno de acero contiene típicamente cantidades mucho mayores de silicato dicálcico y óxido de calcio. Hay diversos tipos diferentes de escoria de acero producidos durante el procedimiento de fabricación del acero, incluyendo escoria (o colada) de horno, escoria de deslizador, escorias sintéticas (o de cucharón) y escoria de los pozos (o desagüe). La escoria de acero producida durante la fase primaria de producción de acero se refiere como escoria de horno o escoria de colada. Después de colarse del horno, el acero fundido es transferido en un cucharón para refinado adicional para eliminar las impurezas adicionales aún contenidas en el acero, que genera escorias de acero adicionales añadiendo de nuevo fluidizantes al cucharón para que funda. Estas escorias se combinan con cualquier remanente de escoria de horno y favorece la absorción de productos de eliminación de la oxidación (inclusiones), aislamiento del calor y protección de refractario del cucharón. Las escorias de acero producidas en esta fase de la fabricación del acero se refieren en general como escorias del deslizador y el cucharón. La escoria de los pozos y la escoria de desagüe son otros tipos de escoria encontrados comúnmente en operaciones de fabricación de acero. Consisten normalmente en la escoria de acero que cae al suelo de la planta en diversas fases de operación o escoria que se elimina del cucharón después de la colada. La fase de refinado del cucharón normalmente implica adición de material fluidizante comparativamente alta y las propiedades de estas escorias sintéticas son con frecuencia significativamente diferentes de las de la escoria del horno. Dichas escorias con frecuencia son ricas en óxido de calcio y silicatos y son aptas como material para el segundo componente del material de lavado, en particular ya que estas escorias sintéticas no se pueden reciclar en general como agregados debido a expansión *in situ*.

Se debería observar que el segundo componente puede comprender una combinación de las escorias que se originan de diferentes posiciones del horno y/o tratamiento o pueden incluir combinaciones de las escorias de diferentes hornos o procedimientos. El término horno incluye convertidores tanto de mineral de hierro como de acero. En general, las escorias de alto horno se refieren a las generadas en hornos de mineral de hierro y las escorias de acero son las generadas por cualquier procedimiento de formación o refinado del acero, incluyendo escorias de acero inoxidable, como se describirá con más detalle a continuación. Dependiendo de la posición desde la que se originen en el procedimiento y posterior tratamiento, muchas de las escorias presentan diferentes distribuciones de tamaño de partícula, diferente mineralogía y formación del cristal. Estas escorias se pueden moler además para lograr distribuciones de tamaño de partícula y/o finura (superficie) deseables.

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 algunas realizaciones de la descripción, el material o los materiales de la escoria del segundo componente se seleccionan que comprendan óxido de calcio en aproximadamente 25 a aproximadamente 60%, opcionalmente aproximadamente 30 a aproximadamente 50% y opcionalmente aproximadamente 30 a aproximadamente 45% en peso. En diversas realizaciones, el segundo componente comprende dióxido de silicio (SiO_2) en más de o igual a aproximadamente

25% en peso; opcionalmente más de o igual a aproximadamente 30% en peso; opcionalmente más de o igual a aproximadamente 35% en peso. Se debería observar que la cantidad de SiO_2 presente en la composición es reflectiva del análisis de óxido simple (como se discutió anteriormente en el contexto del primer componente) y no refleja necesariamente la concentración de silicatos reactivos, que sólo pueden formar una porción de la cantidad total de SiO_2 presente en el material. En algunas realizaciones, el segundo componente comprende además óxido de calcio (CaO) en más de o igual a aproximadamente 25%; opcionalmente más de o igual a aproximadamente 30% en peso; opcionalmente más de o igual a aproximadamente 35% en peso. Como se discutió anteriormente, el óxido de calcio y el óxido de silicio están presentes típicamente en forma de silicatos de calcio, sin embargo, basándose en el análisis de óxidos simples totales, están presentes en las cantidades respectivas mayores que o iguales a aproximadamente 25% en peso. En algunas realizaciones, el segundo componente comprende uno o más ingredientes activos seleccionados del grupo $CaSiO_3$, CaO y mezclas de los mismos, donde una cantidad total del ingrediente activo presente en el segundo componente es aproximadamente 35 a aproximadamente 90% en peso.

En algunas realizaciones, el segundo componente que comprende una escoria tiene una composición como se explica en la Tabla II, no incluye impurezas y diluyentes.

Tabla II

Óxido/Metal	**% en Peso Aproximado**
Óxido de Calcio (CaO)	35 - 55
Sílice (SiO_2)	10-35
Óxido de Aluminio (Al_2O_3)	0,1-10
Óxido de Hierro (FeO) (70 - 80% de FeO y 20 - 30 de Fe_2O_3)	0,1-40
Óxido de Magnesio (MgO)	3-10
Óxido de Manganeso (MnO)	3-10
Sulfato (SO_3)	0,01-15
Fosfato (P_2O_5)	0,01 -1
Hierro Metálico	0,5 - 10

Un ejemplo de una escoria adecuada en general con propiedades cementosas y sílice reactiva es escoria de alto horno granulada molida (GGBFS, por sus siglas en inglés). La velocidad de enfriamiento de la escoria es típicamente suficientemente baja a fin de que se formen en general diversos compuestos cristalinos, incluyendo compuestos predominantes tales como silicato dicálcico, silicato tricálcico, ferrita dicálcica, meriwinita, aluminato de calcio, óxido de calcio, magnesio e hierro, cal libre y magnesia libre. Se cree que la cal libre y la magnesia son responsables de la expansión de la mayoría de las escorias de acero cuando se exponen a la humedad, haciéndolas típicamente inadecuadas para muchas aplicaciones, tales como agregados. Sin embargo, en el contexto de la presente descripción, estos materiales no deseados de otro modo se pueden reciclar y emplear para un uso beneficioso.

Las escorias de acero inoxidable son materiales preferidos en particular para el segundo componente de algunas realizaciones de la descripción, ya que comprenden típicamente mayores concentraciones de cal libre y/o magnesia libre y concentraciones relativamente altas de silicatos, en particular en la forma cristalina de silicato reactiva de γ-C_2S. Durante el desarrollo del cristal y transición de la fase, se cree que esta fase γ-C_2S causa inestabilidad en la red del cristal de C_2S que causa fragmentación a forma de polvo fino debido a auto-pulverización.

Como apreciarán los expertos en la materia, se pueden añadir cantidades variables de elementos, tales como níquel, cromo, molibdeno y manganeso, a hierro refinado para formar acero: cuanto mayores las cantidades de estos elementos que se incluyan, superior el tipo de 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. Un acero austenítico típico tiene cromo en más de o igual a aproximadamente 16% y níquel en más de o igual a aproximadamente 8%. El acero inoxidable comprende carbono hasta aproximadamente 1,7% en peso. Los tipos superiores de acero inoxidable presentan normalmente menores contenidos en carbono y pueden contener molibdeno y manganeso, entre otros. Como ejemplo, un acero inoxidable austenítico Grado 304 inferior tiene carbono (C) en menos de o igual a 0,08%, cromo (Cr) de entre aproximadamente 17 y 19,5%, níquel (Ni) de aproximadamente 8 a 10,5%, manganeso (Mn) en menos de o igual a aproximadamente 2%, sin molibdeno (Mo). Otro acero de tipo superior ejemplar es 316L donde está presente

carbono (C) en menos de o igual a 0,03%, cromo (Cr) en aproximadamente 17%, níquel (Ni) en aproximadamente 9%, manganeso (Mn) en aproximadamente 2% y molibdeno (Mo) en aproximadamente 2,5%. "L" designa bajo contenido en carbono. Un acero inoxidable austenítico de tipo superior es Grado 317LMN que tiene carbono (C) en menos de o igual a 0,03%, cromo (Cr) de entre aproximadamente 16,5 y 18,5%, níquel (Ni) de aproximadamente 13,5 a 17,5%, manganeso (Mn) de aproximadamente 1 a 2% y molibdeno (Mo) de aproximadamente 4 a 5%. En el grado 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 además comprenden una cantidad alta de reactivos y/o silicatos solubles en agua, que son muy deseables para materiales de lavado en diversas realizaciones de la descripción.

El segundo componente puede comprender además otras fuentes de silicatos reactivos, además de la escoria descrita anteriormente, siempre que contribuyan a ingredientes activos deseables y/o necesarios discutidos anteriormente. Por ejemplo, otros ejemplos adecuados incluyen polvo de alto horno (cúpula) recogido de dispositivos de control de la contaminación del aire unidos a altos hornos, tales como torta de masa filtrante de descargador de cúpula. Otra fuente de subproductos industriales adecuados es ceniza de lodos de destintado del papel. Como reconocen los expertos en la materia, hay muchos subproductos producidos/de procedimientos industriales diferentes que son factibles como una fuente de silicatos reactivos del material de lavado de la descripción. Muchos de estos subproductos conocidos comprenden alúmina y/o sílice, también. Se consideran combinaciones de cualquiera de los productos producidos ejemplares y/o subproductos industriales para uso en algunas realizaciones de la descripción.

Así, los materiales de lavado de la descripción comprenden el primer componente que comprende una fuente de óxido de calcio y una fuente de iones de metal alcalino y el segundo componente comprende una escoria que comprende silicatos reactivos. En algunas realizaciones, una relación del primer componente al segundo componente en el material de lavado es aproximadamente 10: 1 a aproximadamente 1: 10. En algunas realizaciones, una relación del primer componente al segundo componente en la suspensión es aproximadamente 3: 4 a aproximadamente 4: 3. Aunque no se esté limitado a ninguna teoría particular, se cree que tiene lugar una velocidad aumentada de reacción y una mayor conversión de la reacción de dióxido de carbono con óxido de calcio y silicatos en un material de lavado cuando la cantidad molar de calcio disponible es mayor que el silicio disponible. Así, en el caso de que los ingredientes activos en el material de lavado sean óxido de calcio y dióxido de silicio, una relación molar de calcio (Ca) a silicio (Si) en el material de lavado es preferiblemente aproximadamente 1: 1 a aproximadamente 10: 1 en algunas realizaciones para facilitar la reacción con dióxido de carbono.

Los materiales de lavado de diversas realizaciones comprenden preferiblemente agua. El agua facilita el transporte, la solubilización y la ionización de los diversos compuestos activos de la presente descripción. En diversas realizaciones, el material de lavado se proporciona en forma de una suspensión. Una suspensión es una mezcla de compuestos solubles y partículas insolubles suspendidas. La suspensión típicamente presenta un contenido en agua mayor que o igual a aproximadamente 15% en peso; preferentemente mayor que o igual a aproximadamente 20% en peso; en algunas realizaciones mayor que o igual a aproximadamente 30% en peso y en algunas realizaciones mayor que o igual a aproximadamente 40% en peso. En algunas realizaciones, el contenido en agua del material de lavado es aproximadamente 15% a aproximadamente 85% en peso. A medida que aumenta el contenido en agua, la viscosidad de la suspensión disminuye, bombeándose así y haciéndose más fácil la manipulación. En algunos aspectos, la suspensión presenta una viscosidad que permite el bombeo y el transporte de masa como un líquido por diversas partes del sistema.

En el caso de que el material de lavado esté en una forma de suspensión y tenga un contenido en agua relativamente alto, se mejora el transporte de masa de dióxido de carbono de la corriente de gases a la fase líquido/sólido de la suspensión, que es deseable, en particular en aplicaciones donde la corriente de fluido tiene una alta velocidad. Además, los materiales de lavado de la presente descripción presentan típicamente propiedades cementosas y/o puzolánicas. Como reconocen los expertos en la materia, la cantidad de agua presente en un sistema dicta la cantidad de formación de fase cementosa, por lo tanto la extensión de endurecimiento, solidificación y aglomeración. Por ejemplo, el hormigón minimiza preferiblemente el contenido en agua para mejorar la resistencia y dureza, por ejemplo, las relaciones agua a cemento Portland en hormigón oscilan preferiblemente de menos de 0,35 a aproximadamente 0,40, requiriéndose una cantidad mínima de 0,25 para completar las reacciones de hidratación de compuestos de cemento. Una composición de hormigón típica es aproximadamente 7 a 15% de cemento, 14 a 21% de agua y los agregados restantes. Para estabilización de desechos, es deseable el desarrollo completo de resistencia y dureza para evitar la lixiviación de diversos metales. Para dicha estabilización de desechos, se ha sugerido que la relación agua a sólido debería ser aproximadamente 0,125 para reacción apropiada de sedimentación y solidificación de silicatos reactivos. Así, en presencia de cantidades relativamente altas de agua, los materiales presentan menos propensión a sedimentar, endurecer y aglomerarse. Por lo tanto, diversas realizaciones de la descripción proporcionan contenido en agua relativamente alto, para evitar la solidificación, sedimentación y aglomeración, para que los materiales puedan circular como un material de lavado en un sistema de reducción de dióxido de carbono.

En algunas realizaciones, el sistema de manipulación del material de lavado en el dispositivo depurador puede presentar puntos de agitación. Además, algunas realizaciones pueden incluir centrífugas, filtros, tamices y/o regiones de sedimentación para eliminar cualquier partícula mayor para evitar acumulación de partículas

aglomeradas mayores en el equipo de manipulación de material del depurador y tuberías. En algunas realizaciones, se emplea un plastificante para minimizar la potencial aglomeración y aumentar la aptitud para fluir del material de lavado. Los plastificantes adecuados incluyen azúcar (sacarosa), superplastificantes usados en aplicaciones de hormigón (tales como plastificantes poliméricos como polímeros y copolímeros a base de éteres de policarboxilato, naftaleno y/o melamina) y combustible diesel. Los plastificantes son conocidos en la técnica y se puede usar una variedad de compuestos adecuados en los materiales de lavado de la descripción, incluyendo los conocidos o que se tienen que desarrollar en la técnica.

En algunas realizaciones de la descripción, una suspensión de material secuestrante de carbono para lavado de dióxido de carbono de una corriente de fluido que contiene dióxido de carbono consiste esencialmente en un primer componente que comprende uno o más materiales seleccionados del grupo que consiste en: polvo de horno de secado de cemento, polvo de horno de secado de cal, cal de remolacha azucarera, polvo de clínker, cal viva, cal apagada y mezclas de los mismos. En dichas realizaciones, la suspensión además consiste esencialmente en un segundo componente que comprende una resina con una fuente de silicatos reactivos y agua también. En algunas realizaciones, la escoria es una escoria de acero inoxidable. En otras realizaciones de la descripción, el material de lavado puede consistir esencialmente en un primer componente que comprende polvo de horno de secado de cemento y un segundo componente que comprende una escoria con una fuente de silicatos reactivos y agua, tales como escoria de acero inoxidable.

En algunas realizaciones, la suspensión de material de lavado comprende un primer componente en entre aproximadamente 15 y aproximadamente 50% en peso, el segundo componente en aproximadamente 15 a aproximadamente 50% en peso y agua en aproximadamente 15 a aproximadamente 50% en peso de la composición de material de lavado total.

En realizaciones donde el material de lavado está en una forma de suspensión, la suspensión comprende preferiblemente partículas con un tamaño de partícula máximo promedio menor que o igual a aproximadamente 500 µm y una superficie específica promedio mayor que o igual a aproximadamente 1.000 cm^2/g. En algunas realizaciones, las partículas presentan una superficie específica promedio mayor que o igual a aproximadamente 4.000 cm^2/g; opcionalmente mayor que o igual a aproximadamente 7.000 cm^2/g y en algunas realizaciones mayor que 10.000 cm^2/g. Además, las partículas de la suspensión presentan un diámetro del tamaño de partícula máximo promedio menor que o igual a aproximadamente 300 µm en algunas realizaciones y menor que o igual a aproximadamente 100 µm en otras realizaciones. Tamaños de partícula menores tienden a presentar mayores superficies, que fomenta la reacción de los ingredientes activos, minimiza efectos de sedimentación de las partículas de suspensión y minimiza la obstrucción del equipo de manipulación y tratamiento. Con respecto a esto, las partículas suspendidas presentan características deseables para reacción con el dióxido de carbono en la corriente de efluente y para transporte y tratamiento (evitando la sedimentación y similares). Dichos tamaños de partícula y superficies se pueden lograr seleccionando el primer componente y segundo componente para que tengan estas propiedades deseadas o por tratamiento adicional de los materiales por molienda o trituración, por ejemplo, por mezcla del primer y segundo componente en un molino de bolas para reducir el tamaño de partícula. La suspensión también se puede tratar en un mezclador, agitador, amasadora o molino de suspensión para lograr suficiente mezcla del primer componente, segundo componente y agua.

La Figura 1 representa un diagrama de flujo del procedimiento de un sistema de eliminación de dióxido de carbono según una realización de la descripción. Un primer componente 10, un segundo componente 12 y agua 14 se combinan para formar un material 16 de lavado fresco. El material 16 de lavado fresco se puede almacenar en un tanque previamente a su uso en un reactor 20. El material 16 de lavado fresco se introduce en el reactor 20 y se pone en contacto con una corriente 22 de efluente que contiene dióxido de carbono para lavar y retirar el dióxido de carbono. El reactor 20 comprende una zona 24 de mezcla, donde se combina el material 16 de lavado fresco y la corriente 22 del efluente, preferiblemente con flujo turbulento. El material 16 de lavado reacciona con el dióxido de carbono para formar un producto 26 recogido en el reactor 20. El producto 26 comprende carbonato de calcio y material de lavado usado. El producto 26 sale del reactor 20 y entra en un separador 28, donde el producto 30 de carbonato de calcio se separa de material 32 de lavado usado.

Como se discutió anteriormente, se cree que los compuestos activos son silicatos reactivos y óxido de calcio. Aunque no se está limitado en cuanto a las presentes explicaciones, se cree que el material de lavado experimenta los siguientes mecanismos de reacción. El agua y dióxido de carbono forman aniones carbonato en una disolución de pH básico. Los aniones carbonato reaccionan con iones calcio en presencia de silicatos reactivos para formar carbonato de calcio. El material 16 de lavado usado comprende los silicatos reactivos. Los iones de metal alcalino proporcionan la alcalinidad deseable a la disolución, que fomenta la reacción del dióxido de carbono con el óxido de calcio y silicatos y además se cree que favorece la formación de productos de silicato reactivos en los materiales de lavado usados. El material 32 de lavado usado aún contiene silicatos reactivos e iones de metal alcalino muy deseables, que ayudan a mantener el pH. Se cree que la reacción de carbonatación reduce el pH (a condiciones más neutras) del material de lavado, así es deseable la alcalinidad del primer componente.

En algunas realizaciones, el sistema de lavado es continuo y regenerativo. Así, después de la puesta en contacto en la zona 24 de mezcla del reactor 20 se separa la composición 32 de lavado usada del producto. El material 32 de lavado usado se devuelve opcionalmente a la fuente 16 de material de lavado fresco. De esta manera, el material 32

de lavado usado se puede combinar con material 16 de lavado fresco previamente a posterior puesta en contacto con la corriente de fluido que contiene dióxido de carbono. Así, una porción del material 32 de lavado usado se puede reciclar en el material 16 de lavado fresco, proporcionando de manera deseable tanto silicatos reactivos como alcalinidad para fomentar una suspensión de material de lavado a pH básico. El material 32 de lavado usado también se puede retirar del sistema para eliminación 34.

En algunas realizaciones, el material 32 de lavado usado y/o material 16 de lavado fresco se controlan para determinar cuánto reciclado o alternativamente, purga del material de lavado (vía eliminación) es necesario. Por ejemplo, el material 32 de lavado usado y/o la mezcla de material de lavado usado y fresco se pueden controlar en los puntos 36 y 38 representativos para un contenido en iones alcalinos del material de lavado usado. Si el contenido en ión alcalino es demasiado bajo o demasiado alto, es decir, si el contenido en iones de metal alcalino se desvía de un punto de ajuste predeterminado, se retira entonces una porción del material de lavado usado. Por ejemplo, si la concentración de iones de metal alcalino es demasiado baja, la alcalinidad deseada puede ser demasiado baja para reciclado. Además, si el contenido en iones de metal alcalino es demasiado alto, se puede purgar el material 32 de lavado usado. Se puede usar la cantidad predeterminada en un sistema de control y se puede determinar por observación empírica del sistema y/o por modelado de cálculos del sistema. Asimismo, el pH del material 32 de lavado usado y/o una mezcla del material de lavado usado con material de lavado fresco se puede controlar en 36 y 38 representativos. Si el pH excede de un valor de ajuste predeterminado, se retira una porción del material 32 de lavado usado vía eliminación 34. Los intervalos de pH predeterminados se pueden determinar por observación y/o cálculo empírico. Como se describió previamente, en algunos aspectos, el material de lavado que se pone en contacto con el dióxido de carbono tiene un pH básico mayor que o igual a aproximadamente 7, preferiblemente mayor que o igual a aproximadamente 9 y en algunas circunstancias mayor que o igual a aproximadamente 11.

Como se describió anteriormente, es preferible que el material 16 de lavado se ponga en contacto con corriente 22 de fluido en una zona 24 de mezcla turbulenta del reactor 20. En realizaciones donde el material de lavado es una suspensión, la corriente de suspensión de alta energía se pone en contacto con la corriente de gases y efectúa transferencia de masa. La zona 24 de mezcla proporciona preferiblemente una alta superficie para lograr suficiente transferencia de masa. En instalaciones de producción típicas, las corrientes de efluente o escape de diversos procedimientos presentan caudales que oscilan de aproximadamente 10.000 pie^3/min real (acfm, por sus siglas en inglés) (aproximadamente 285 m^3/min) a aproximadamente 1.000.000 acfm (aproximadamente 28.000 m^3/min). Sin embargo, como apreciarán los expertos en la materia, dichos caudales varían basándose en la capacidad de la instalación y el tipo de procedimiento y son difíciles de generalizar. Por ejemplo, el escape del horno de secado de una instalación de producción de cemento típica está normalmente entre aproximadamente 100.000 acfm (2.800 m^3/min) y aproximadamente 400.000 acfm (aproximadamente 11.000 m^3/min) y los caudales de escape de la caldera típicos pueden oscilar de aproximadamente 100.000 (2.800 m^3/min) a aproximadamente 600.000 acfm (17.000 m^3/min). Así, en algunas realizaciones, el reactor 20 es capaz de tratar caudales de gases de escape industriales típicos.

En algunas realizaciones, la puesta en contacto tiene lugar en condiciones de presión atmosférica. En diversas realizaciones, la puesta en contacto del material 16 de lavado y la corriente 22 de fluido de efluente tiene lugar en un entorno a menos de o igual a aproximadamente 100°C (212°C) a presión atmosférica, para evitar la evaporación del agua en la suspensión. Con respecto a esto, la corriente 22 de efluente puede requerir que se enfríe, por ejemplo por un intercambiador de calor mostrado como 40 en la Figura 1, previamente a la puesta en contacto del material de lavado o la presión del sistema puede requerir que se aumente para evitar la evaporación indeseable del agua. En algunas realizaciones, la puesta en contacto tiene lugar en un entorno menor que o igual a aproximadamente 75°C (aproximadamente 170°F); opcionalmente menos de o igual a aproximadamente 40°C (aproximadamente 100°F). En algunas realizaciones, la puesta en contacto del material de lavado con la corriente de fluido tiene lugar en condiciones de presión atmosférica y temperatura normal. Dichas realizaciones pueden requerir enfriamiento de la corriente de efluente previamente a contacto, también conocido para los expertos en la materia y discutido anteriormente. Así, el efluente 44 tratado sale del reactor 20 con una cantidad reducida de dióxido de carbono cuando se compara con una cantidad inicial de dióxido de carbono presente en la corriente 22 de efluente no tratada. En algunos aspectos, la eficacia de la eliminación del reactor 20 es mayor que 20%, opcionalmente mayor que 30%. En algunos aspectos, la eficacia de la eliminación se optimiza para que sea mayor que 50%; opcionalmente mayor que 75%; opcionalmente mayor que 90% y en algunas realizaciones mayor que 95%.

Después de la reacción de dióxido de carbono en la corriente 22 de efluente con el material 16 de lavado, se genera un producto 26 que comprende carbonato de calcio y material de lavado usado. Aunque se puede perder algo de agua durante la puesta en contacto y reacción, una porción grande de agua quedará en el producto 26. En algunas realizaciones, este producto 26 se puede agitar para evitar aglomeración y/o solidificación de los materiales de silicato. El carbonato de calcio se puede tratar después vía un separador 28 del material de lavado usado, por ejemplo por filtración. En algunas realizaciones, el carbonato 30 de calcio tiene una reutilización beneficiosa y se puede emplear como materia prima en otro procedimiento de manera que se recicle. En algunas realizaciones, el contenido en agua de un producto 30 de carbonato de calcio separado puede ser demasiado alto. El producto de carbonato de calcio puede ser separado del agua para lograr un contenido en humedad deseable dependiendo del uso final. Por ejemplo, dicha separación del carbonato de calcio se puede conseguir por evaporación, separación y/o por filtración (no mostrado en la Figura 1). Así, el equipo adecuado puede incluir calentadores, centrífugas, filtros de tamiz, prensas de filtro, filtros de discos rotativos, filtros de vacío y similares, como se conoce en la técnica. Cuando

se separa el material 32 de lavado usado en el separador 28, se puede preparar para eliminación 34 o se puede reciclar reintroduciéndolo en un material 16 de lavado fresco. Para dicho reciclado, puede ser deseable agitar la mezcla periódicamente durante el transporte (flujo no laminar) y además añadir agua para reducir viscosidad y mejorar el bombeo (no mostrado en la Figura 1).

En algunas realizaciones de la descripción, la puesta en contacto del material de lavado tiene lugar en un reactor de lecho fluidizado, un reactor de lecho en suspensión, un depurador venturi, un depurador de torres de atomización, un reactor de depurador empaquetado, un reactor tanque con agitación continua (CSTR, por sus siglas en inglés) y/o cualquier combinación de los mismos. En algunas realizaciones usando una suspensión de material de lavado viscosa, la puesta en contacto tiene lugar en un reactor de lecho en suspensión, un depurador de torres de atomización y/o un CSTR. En otras realizaciones, en particular donde el material del depurador comprende partículas semi-secas, se puede usar un reactor de lecho fluidizado o un depurador venture. El listado de los reactores anteriores no es limitante, ya que se consideran otros reactores adecuados conocidos en la técnica por la presente descripción.

Los reactores de lecho fluidizado suspenden partículas sólidas en chorros de soplado ascendente de gas durante el procedimiento de la reacción y son conocidos en la técnica. Por ejemplo, los lechos fluidizados atmosféricos usan un sorbente para capturar azufre generado por combustión de combustibles fósiles. En algunos aspectos, el fluido debería fluir hacia arriba y tener suficiente velocidad de fluido para elevar las partículas por fuerzas de fricción. De esta manera, se consigue una mezcla turbulenta de sólidos y gases. En algunos aspectos de la descripción, la corriente de efluente puede comprender suficiente agua (o se puede añadir el agua previamente al reactor en la corriente del efluente o en el material de lavado, si es necesario) para permitir reacción con un material de lavado semi-seco en un reactor de lecho fluidizado.

El lavado húmedo usa en general una corriente líquida de alta energía para poner en contacto la corriente de gases y afecta a la transferencia de masa. En reactores tanque con agitación continua (CSTR) se introduce uno o más reactivos fluidos en un reactor tanque provisto de uno o más impulsores. El impulsor agita los reactivos para asegurar un mezclamiento apropiado. Se retira efluente de manera continua del tanque. Los CSTR con frecuencia contienen tilbes y múltiples entradas y/o puntos de eliminación del efluente para proporcionar homogeneidad en la mezcla. Además, el fluido/gas del efluente se puede inyectar en el CSTR en numerosas posiciones dentro del reactor para mejorar la mezcla y las interfases gas/líquido/sólido.

Los reactores depuradores húmedos se usan con frecuencia en procedimientos de desulfurización de gases del conducto de humos. Hay varias clases principales de depuradores húmedos, incluyendo un depurador venturi, un depurador de torre empaquetada y un depurador de torres de atomización. Un depurador venturi es una sección convergente/divergente de conducto. La sección convergente acelera la corriente de fluido a una alta velocidad. Cuando se inyecta la corriente de suspensión en la garganta o punto de máxima velocidad, la turbulencia causada por la alta velocidad del gas atomiza el líquido en partículas pequeñas y/o gotitas, que crea la superficie necesaria para que tenga lugar transferencia de masa. Cuanto mayor la caída de presión en el venturi, menores las partículas atomizadas y mayor la superficie.

Un reactor depurador empaquetado consiste en una torre con pequeños objetos dispuestos en la misma. Estos objetos pueden estar en forma de sillas, anillos o formas especializadas que se designan para maximizar el área de contacto entre el gas de escape y el líquido. Las torres empaquetadas operan típicamente a caídas de presión mucho menores que un depurador venturi y proporcionan típicamente mayor eficacia de eliminación de contaminantes. En algunos aspectos, el líquido/la suspensión tiene una viscosidad baja cuando se usa en dicho reactor.

La mayoría de los depuradores húmedos se denominan como torre de pulverización. Un reactor de depurador de torre de pulverización tiene un diseño relativamente simple, que consiste en una torre con boquillas de pulverización, que generan las gotitas para contacto de superficie. Una torre de pulverización es un reactor particularmente adecuado para usar un depurador de suspensión, ya que dichas torres evitan en general la obstrucción del material.

La torre se diseña típicamente de manera que, a carga máxima, la velocidad del gas superficial promedio no exceda de la velocidad del gas de diseño. Para la mayoría de las torres de pulverización, la velocidad promedio del gas varía de aproximadamente 8 a 13 pie/s. (2,4 a 4 m/s) basándose en las condiciones de salida del depurador, sin embargo la presente descripción no se limita a ninguna velocidad particular. El efluente/gas del conducto de humos entra en el reactor absorbedor desde una entrada lateral de fluido. El diseño de la torre está influenciado por el material de lavado, el nivel de eliminación de CO_2 deseado, una compensación entre la potencia del ventilador y la potencia de la bomba de la suspensión de recirculación, así como otros diversos factores conocidos para los expertos en la materia. Las boquillas de pulverización se usan de manera convencional en depuradores húmedos y dichas boquillas ayudan al control de la mezcla de suspensión de materiales de lavado con el gas del efluente. Las presiones de operación varían típicamente entre aproximadamente 5 y 20 psi (34 y 138 kPa), aunque la descripción no se limita a dichas presiones ejemplares. Las boquillas de pulverización sin obstrucciones internas se favorecen para minimizar la obstrucción por partículas atrapadas. Un tanque grande en el fondo de la torre de pulverización/cámara de reacción se refiere normalmente como un tanque de reacción o el tanque de recirculación. El volumen de este tanque permite diversos procedimientos químicos y físicos para aproximarse a la terminación.

Poner en contacto gas-líquido-sólido en las torres permite alta eficacia para eliminación de contaminantes y maximización de utilización de reactivos. El gas sigue las paredes de la cámara de reacción al extremo de atrás de las salidas del absorbedor a la parte de atrás del absorbedor.

Como se muestra en la Figura 2, en algunas realizaciones de la descripción, un sistema de reducción de emisiones de dióxido de carbono comprende un reactor 100 de torre depuradora que comprende una cámara 102 de reacción. La cámara 102 de reacción está en comunicación de fluido con un paso 104 de entrada de fluido/entrada, aquí mostrado como un conducto de esquina abajo. La entrada 104 de fluido permite ingreso de una corriente de fluido del efluente a la cámara 102 de reacción. La corriente 106 de fluido del efluente preferiblemente se genera aguas arriba en un horno, un incinerador, una caldera o un horno secador y comprende dióxido de carbono. Una fuente de la suspensión 108 comprende una suspensión 110 con un primer componente que comprende una fuente de óxido de calcio y una fuente de iones de metal alcalino; un segundo componente que comprende una escoria con una fuente de silicatos reactivos y agua. La fuente de la suspensión 108 está en comunicación de fluido con una entrada 112a de suspensión dispuesta en la cámara 102 de reacción que alimenta la suspensión 108 a la cámara 102 de reacción. Se debería observar que en realizaciones alternativas, la suspensión 108 se puede introducir en el pase 104 de entrada con la corriente 106 de efluente, por ejemplo, en una entrada 112b de suspensión alternativa. Además, en algunas realizaciones, la suspensión 108 se puede introducir en ambas entradas 112a y 112b de suspensión. La fuente de la suspensión 108 comprende en general un tanque de almacenamiento (no mostrado) y un sistema 113 de bombeo.

La cámara 102 de reacción también comprende una zona 114 de mezcla dispuesta en la cámara 102 de reacción. La zona 114 de mezcla se denomina una mezcla de manera turbulenta de la corriente 106 de fluido de efluente y la suspensión 110. La zona 114 de mezcla puede contener además medios adicionales para efectuar turbulencia, por ejemplo tilbes o placas 116 en forma de V (para simplicidad solo se muestra en una pequeña porción de la zona de mezcla, pero que se puede extender por la zona 114 de mezcla) para mejorar la oportunidad para la interfase entre el gas 106 del efluente y la suspensión 110 dentro del reactor 100. Además, la cámara 102 de reacción se conforma o tiene un volumen suficiente para proporcionar un tiempo de contacto, que permite el tratamiento de la corriente de efluente para reducir una cantidad de dióxido de carbono al menos aproximadamente 30%. Un tiempo de contacto se refiere en general a:

$$T = \frac{\text{volumen del reactor}}{\text{caudal de gas}},$$

que indica un tiempo medio que una molécula está dentro de un reactor 100. Como tal, según ciertos aspectos de la descripción, la cámara 102 del reactor se conforma para que tenga un volumen que permita que el fluido 106 del efluente tenga un tiempo de contacto suficiente para reaccionar con la suspensión 110 de material de lavado. Como apreciarán los expertos en la materia, dichos volúmenes se pueden determinar por el caudal de fluido del efluente que se tiene que tratar.

El sistema 100 del reactor comprende además un pase 118 de salida de fluido en comunicación de fluido con la cámara 102 de reacción para permitir la salida de la corriente 120 del efluente tratado de la cámara 102 de reacción. Un depósito 124 grande en el fondo 126 de la cámara 102 de reacción se refiere normalmente como un tanque de reacción o el tanque de recirculación. Este depósito 124 se conforma para permitir que las reacciones de secuestro de carbono deseadas se aproximen a la terminación sin permitir la sedimentación o solidificación de la suspensión/producto usado recogido allí. Aunque se no se muestre, el depósito 124 comprende opcionalmente equipo de agitación, tal como tamices o bombas de agitación, por ejemplo, que impulsan el objetivo de evitar la sedimentación del material de lavado usado. Un paso 122 de salida/eliminación de suspensión está en comunicación de fluido con la cámara 102 del reactor para eliminar la suspensión usada y/o un producto 128 de carbonato de calcio. Aunque no se muestre en la Figura 2, la disolución de suspensión usada se puede separar de carbonato de calcio y después recircular a la fuente 108 de suspensión.

La Figura 3 representa una realización de un sistema de eliminación de dióxido de carbono muy igual a lo mostrado en la Figura 1, pero que comprende uno o más dispositivos 50 de control de la contaminación del aire (los APCD, por sus siglas en inglés) que además tratan la corriente 44 del efluente después de que haya salido del reactor 20. Como apreciarán los expertos en la materia, la corriente de efluente comprende uno o más contaminantes adicionales distintos de CO_2. Por ejemplo, además de dióxido de carbono, los contaminantes del aire comunes encontrados en corrientes de efluentes de calderas, hornos de secado, hornos e incineradoras incluyen monóxido de carbono, ácido clorhídrico, clorofluorocarbonos, óxido nitrosos, óxidos de azufre, materia en forma de partículas, compuestos orgánicos volátiles, compuestos en aerosol, mercurio, plomo, amoníaco, ozono y mezclas y equivalentes de los mismos. Así, en algunas realizaciones, el reactor 20 puede servir para eliminar de manera incidental una porción de estos otros contaminantes, sin embargo, se considera que los APCD 50 adicionales se pueden requerir para reducir uno o más contaminantes adicionales a concentraciones aceptables. Los APCDs 50 ejemplares típicos incluyen precipitadores electrostáticos, filtros de cámara de filtros, ciclones, depuradores de carbono activado, depuradores de desulfurización de gases del conducto de humos, oxidantes térmicos, adsorbedores por cambios de presión, reactores catalíticos selectivos, reactores no catalíticos selectivos y similares.

En algunas realizaciones, tal como las mostradas en la Figura 4, el sistema de eliminación de dióxido de carbono comprende además uno o más dispositivos 60 de control de la contaminación del aire (los APCD) para pretratamiento de la corriente 22 de efluente previamente a entrar al reactor 20. Así, se puede eliminar cualquier contaminante adicional que pueda causar reacciones adversas o indeseables con el material de lavado o corrosión o daño al soporte físico del equipo.

En algunos aspectos, la presente descripción proporciona un método para reducir las emisiones de dióxido de carbono de una instalación de producción de cemento. El método comprende hacer reaccionar materias primas de producción de cemento (que contiene fuentes de calcio, silicio, aluminio e hierro) en un horno de secado para producir clínker y una corriente de efluente que comprende dióxido de carbono. Al menos una porción de la corriente de efluente se pone en contacto con un material de lavado tal como las descritas en realizaciones previas anteriormente. Se genera un producto que comprende carbonato de calcio y una composición de lavado usada. Cualquiera de los procedimientos de las realizaciones descritas anteriormente puede ser útil para las presentes realizaciones. Por ejemplo, previamente a la puesta en contacto del efluente con material de lavado, la corriente de efluente se puede tratar en uno o más dispositivos de control de la contaminación del aire (los APCD) para eliminar uno o más contaminantes del aire. La piedra caliza o el carbonato de calcio es una materia prima principal en la producción tanto de cal como de cemento. En algunas realizaciones, el producto que comprende carbonato de calcio se reutiliza de manera beneficiosa como una materia prima para producir clínker y/o cal. Así, en producción de cemento, el carbonato de calcio generado se combina con posterioridad con las materias primas para producir el clínker.

El material de lavado usado se puede reciclar, como se describió previamente anteriormente. En algunas realizaciones, los métodos comprenden además generar polvo de horno de secado de cemento (CKD) durante la reacción de las materias primas. El material de lavado puede comprender al menos una porción del polvo de horno de secado de cemento generado (CKD). El CKD se puede recoger vía una materia en forma de partículas APCD (por ej., cámara de filtros o ESP) y después se introduce en el material de lavado. Sin embargo, también se considera que en algunas realizaciones, la corriente de efluente pone en contacto el material de lavado antes de entrar en un dispositivo de control de materia en forma de partículas, así las partículas de CKD se ocluyen en la corriente de efluente y pueden complementar el material depurador como una fuente de iones calcio e iones de metales alcalinos. Como se describió anteriormente, en algunos aspectos preferidos, el primer componente comprende polvo de horno de secado de cemento (CKD) y el segundo componente comprende escoria de acero inoxidable.

Algún cemento producido se denomina como álcali inferior y como tal, las materias primas para fabricar el cemento asimismo deben tener contenido en álcali relativamente bajo. Si la partición de iones de metal alcalino en el producto de carbonato de calcio, puede ser necesario reducir la concentración de iones alcalinos en el producto de carbonato de calcio para fomentar la partición al producto de lavado usado. De esta manera, el material de lavado usado y/o producto de carbonato de calcio se puede controlar por el contenido en iones alcalinos para evitar acumulación de álcali no deseada en el horno de secado o producto de clínker.

En otras realizaciones de la descripción, se proporciona un método para reducir las emisiones de dióxido de carbono de una instalación de producción de cemento y/o cal. El material de lavado se pone en contacto con al menos una porción de una corriente de efluente que comprende dióxido de carbono. La corriente de efluente se genera en un horno. El material de lavado comprende un primer componente, un segundo componente distinto del primer componente y agua, como en cualquiera de las realizaciones descritas previamente. El método comprende además generar un producto que comprende carbonato de calcio y un material de lavado usado. El producto de carbonato de calcio se reutiliza después como una materia prima en el horno de secado. En algunas realizaciones, hacer reaccionar las materias primas comprende además generar polvo de horno de secado de cemento (CKD) o polvo de horno de secado de cal (LKD) y el material de lavado comprende al menos una porción del polvo de horno de secado de cemento (CKD) o polvo de horno de secado de cal (LKD) generado.

La presente descripción proporciona además realizaciones para reducir las emisiones de dióxido de carbono de una instalación de producción de hierro y/o acero. El método comprende poner en contacto un material de lavado con al menos una porción de una corriente de efluente que comprende dióxido de carbono que se genera en un horno de un procedimiento de producción de hierro y/o acero. El horno puede ser cualquiera de los descritos anteriormente en el contexto de las fuentes de escoria, tales como un alto horno (tratamiento de mineral de hierro), un horno de corazón abierto (tratamiento de acero), un horno de procedimiento con oxígeno básico (tratamiento de acero) o un horno de arco eléctrico (tratamiento de acero). El material de lavado comprende un primer componente, un segundo componente distinto del primer componente y agua, como donde se describió anteriormente. Se genera un producto que comprende carbonato de calcio que es capaz de reutilizarse como una materia prima en un procedimiento industrial. En algunas realizaciones, el segundo componente comprende una escoria generada en el procedimiento de producción de hierro y/o acero. Además el producto de carbonato de calcio se puede reciclar y usar como un material fluidificante en el procedimiento de producción de hierro y/o acero. En otras realizaciones, el carbonato de calcio se puede usar como una materia prima en cualquier industria que emplee carbonato de calcio como materia prima, tal como en producción de cemento y cal.

En otras realizaciones más, se proporcionan métodos para reducir las emisiones de dióxido de carbono de una

fuente de combustión de hidrocarburos, tal como una caldera de central eléctrica o un incinerador. Una fuente de combustión de hidrocarburos comprende todas las fuentes de puntos fijos que queman los hidrocarburos que forman dióxido de carbono, incluyendo las instalaciones que queman combustibles fósiles (por ej., carbón, metano), combustibles sintéticos (por ej., coque de petróleo, gas de síntesis, etanol), o cualquier otra variedad de hidrocarburos. El procedimiento comprende poner en contacto un material de lavado con al menos una porción de una corriente de efluente que comprende dióxido de carbono que se genera por combustión de un combustible fósil. El material de lavado es cualquiera de los descritos anteriormente. Se genera así un producto que comprende carbonato de calcio que es capaz de reutilizarse como una materia prima en un procedimiento industrial.

En diversas realizaciones, la presente descripción proporciona métodos para reciclar subproductos industriales que de otro modo se acumularían, verterían o desecharían. Por ejemplo, en algunas realizaciones, se proporciona un método de reciclado de subproductos industriales. Un material de lavado de dióxido de carbono se forma por mezcla de un primer componente producido con un segundo componente producido. El primer componente comprende una fuente de óxido de calcio y una fuente de iones de metal alcalino. El segundo componente comprende una escoria con uno o más compuestos de silicato reactivos. Una corriente de efluente generada en un procedimiento industrial que comprende dióxido de carbono se pone en contacto después con el material de lavado. Se genera un producto que comprende carbonato de calcio que es capaz de reutilización beneficiosa tal como en un procedimiento industrial. En algunas realizaciones, después de la puesta en contacto y después de la generación, el material de lavado se gasta y se mezcla al menos una porción del material de lavado usado con el primer componente producido fresco y el segundo componente producido fresco.

De esta manera, los métodos y los materiales de lavado de la descripción promueven iniciativas de desarrollo sostenibles, que incluyen equilibrar la necesidad de crecimiento y desarrollo actuales contra la necesidad de proteger el entorno natural y artificial para futuras generaciones. Además, los métodos y los sistemas de la descripción proporcionan emisiones de dióxido de carbono reducidas para diversas fuentes de puntos fijos, que además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, proporcionan la capacidad para que dichas fuentes puntuales satisfagan diversas regulaciones para recibir un beneficio económico y comercial por programas comerciales de crédito de emisión de dióxido de carbono y para reducir la potencial corrosión e ineficacias intrínsecas con la presencia de dióxido de carbono en corrientes de efluente.

REIVINDICACIONES

1. Un método para reciclar subproductos industriales que comprende:

mezclar un primer componente producido que comprende una fuente de óxido de calcio y una fuente de iones de metales alcalinos, donde el primer componente producido se selecciona a partir del grupo constituido por: polvo de horno de secado de cemento (CKD), polvo de horno de secado de cal (LKD) y polvo de clínker con un segundo componente producido que comprende una escoria que tiene uno o más compuestos de silicatos reactivos para formar un material de lavado,

poner en contacto una corriente de efluente generada en un proceso industrial que comprende dióxido de carbono con el material de lavado,

generar un producto de carbonato de calcio que es capaz de ser reutilizado en un proceso industrial,

caracterizado por que

el segundo componente producido comprende un material seleccionado a partir del grupo constituido por una escoria de alto horno y una escoria de acero.

2. El método según la reivindicación **1**, donde el producto que comprende carbonato de calcio se reutiliza como materia prima en uno o más procesos industriales seleccionados a partir del grupo constituido por procesos de producción de cemento, producción de cal, producción de hierro y producción de acero.

3. El método según la reivindicación 1, en el que el primer componente producido comprende polvo de horno de secado de cemento (CKD) y el segundo componente producido comprende una escoria de acero inoxidable.

4. El método según la reivindicación 1, en donde el proceso industrial es la producción de cemento, donde las materias primas para la producción de cemento se hacen reaccionar en un horno de secado para producir clínker, en donde el producto que comprende carbonato de calcio se combina con las materias primas para producir el clínker.

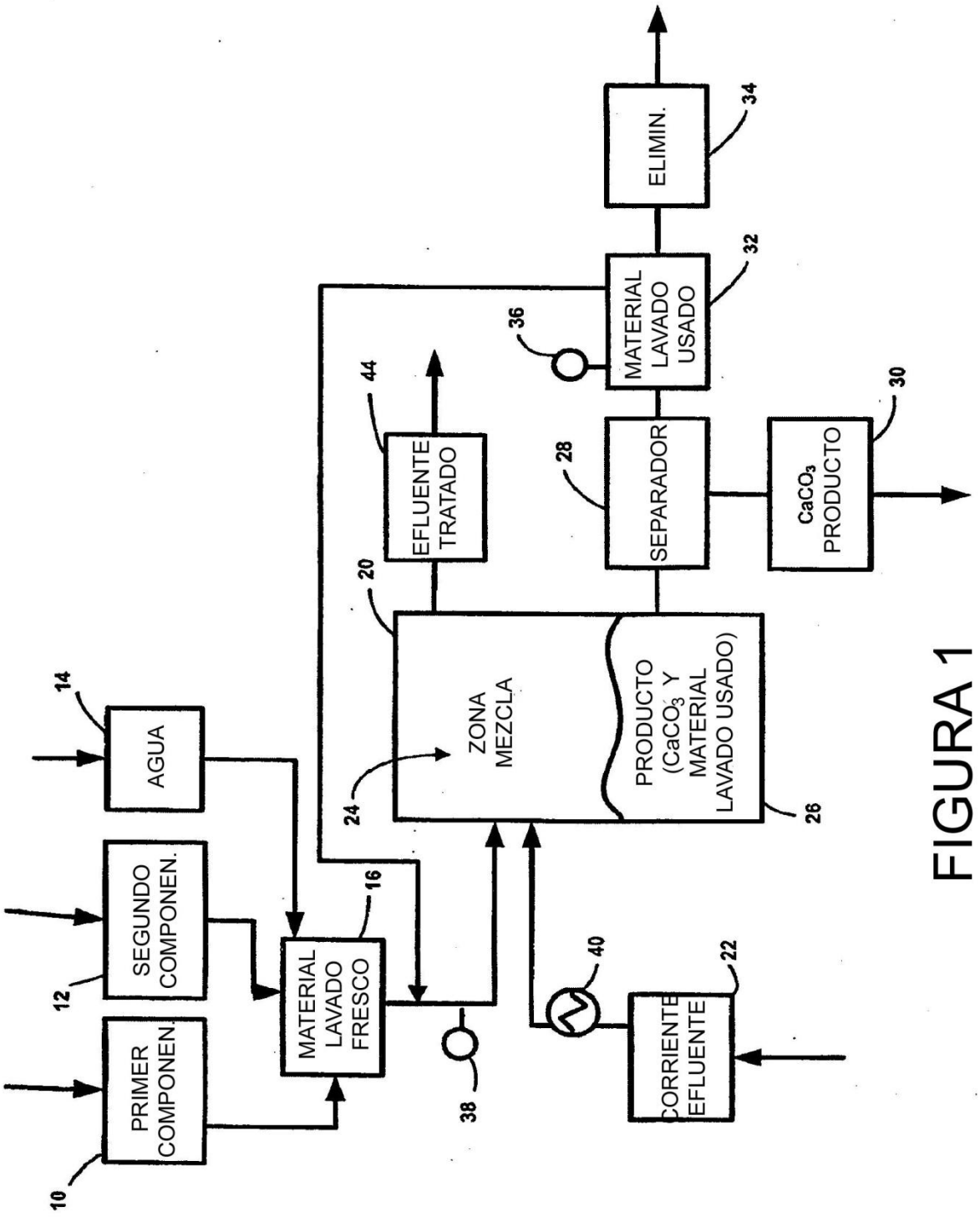
ELIMIN.
34
MATERIAL LAVADO USADO
32
36
EFLUENTE TRATADO
44
SEPARADOR
28
$CaCO_3$ PRODUCTO
30
20
ZONA MEZCLA
24
PRODUCTO ($CaCO_3$ Y MATERIAL LAVADO USADO)
26
AGUA
14
SEGUNDO COMPONEN.
12
PRIMER COMPONEN.
10
MATERIAL LAVADO FRESCO
16
38
40
CORRIENTE EFLUENTE
22

FIGURA 1

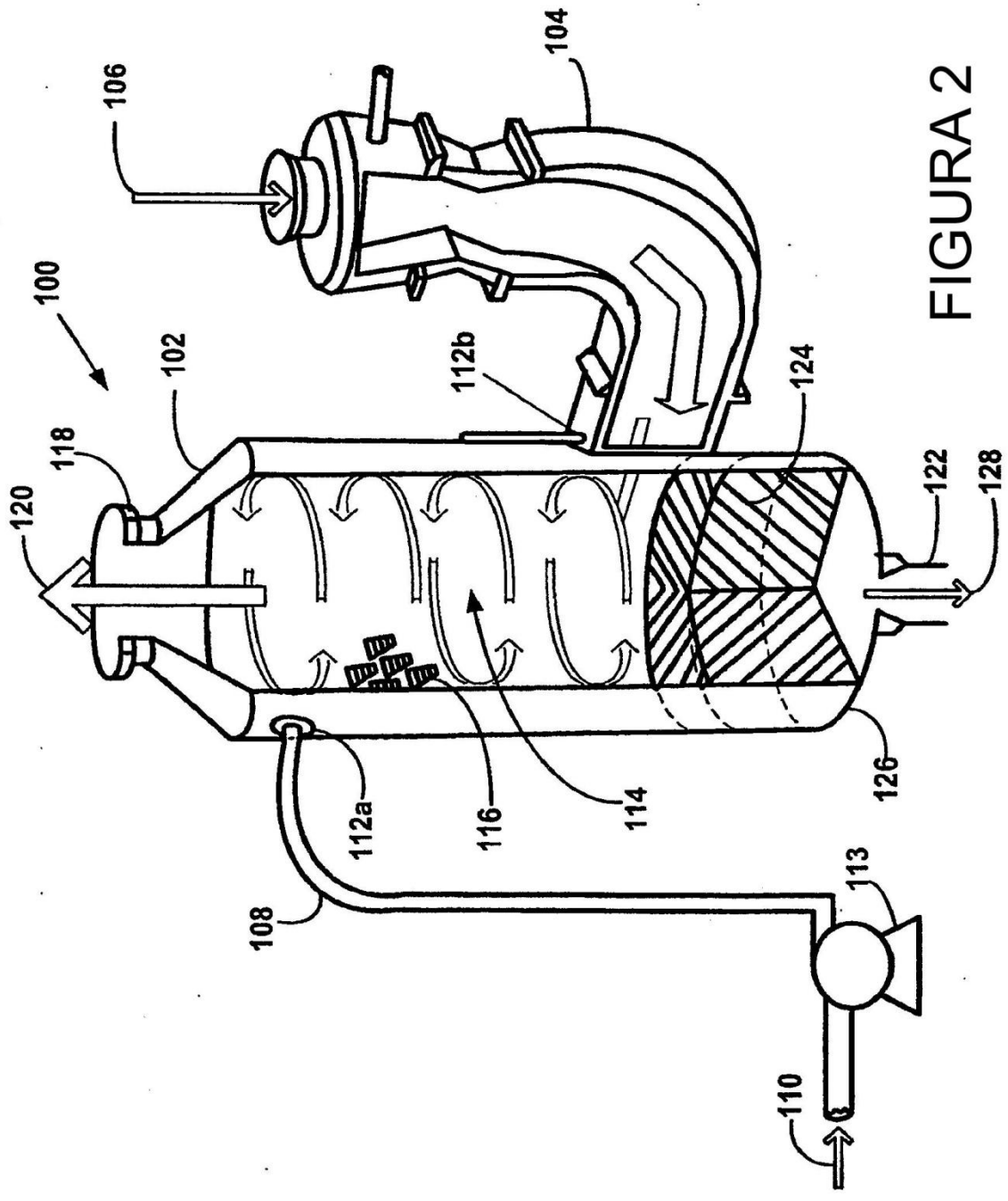
104
106
100
102
112b
124
118
120
122
128
126
112a
116
114
113
108
110

FIGURA 2

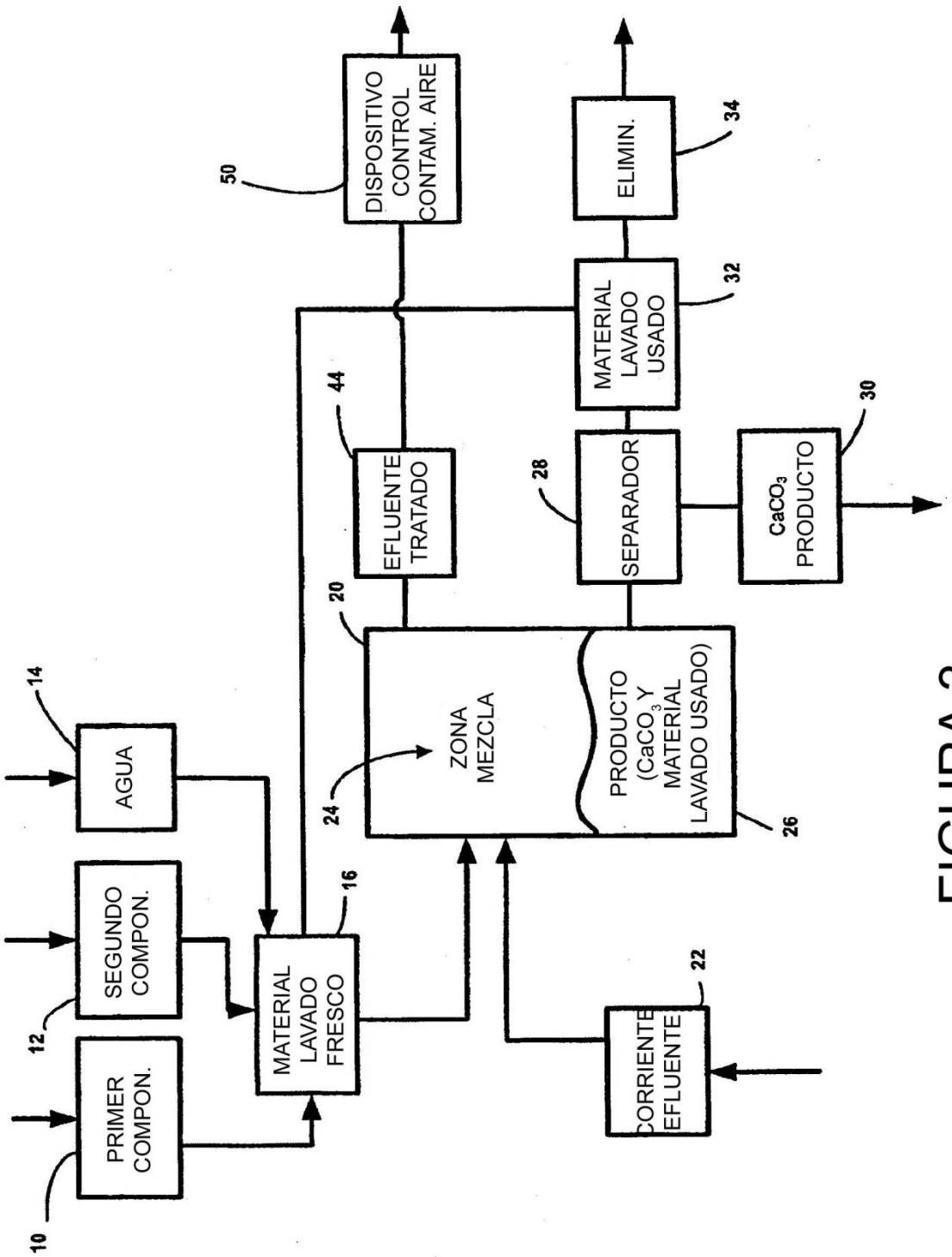
DISPOSITIVO CONTROL CONTAM. AIRE
50
ELIMIN.
34
MATERIAL LAVADO USADO
32
EFLUENTE TRATADO
44
SEPARADOR
28
$CaCO_3$ PRODUCTO
30
20
ZONA MEZCLA
24
PRODUCTO ($CaCO_3$ Y MATERIAL LAVADO USADO)
26
AGUA
14
SEGUNDO COMPON.
12
PRIMER COMPON.
10
MATERIAL LAVADO FRESCO
16
CORRIENTE EFLUENTE
22

FIGURA 3

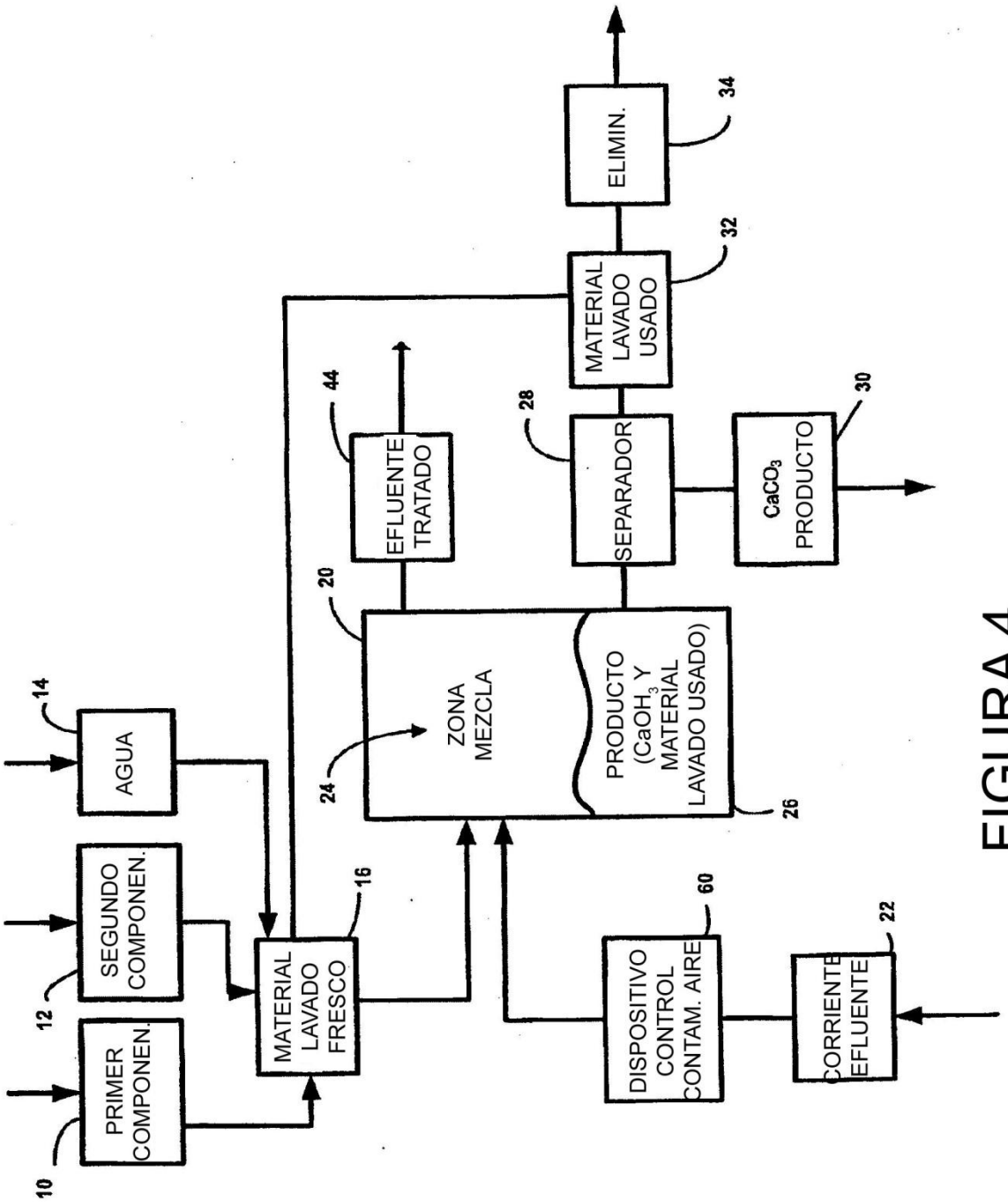
ELIMIN.
34
MATERIAL LAVADO USADO
32
SEPARADOR
28
EFLUENTE TRATADO
44
$CaCO_3$ PRODUCTO
30
ZONA MEZCLA
24
PRODUCTO ($CaOH_3$ Y MATERIAL LAVADO USADO)
26
20
AGUA
14
SEGUNDO COMPONEN.
12
PRIMER COMPONEN.
10
MATERIAL LAVADO FRESCO
16
DISPOSITIVO CONTROL CONTAM. AIRE
60
CORRIENTE EFLUENTE
22

FIGURA 4