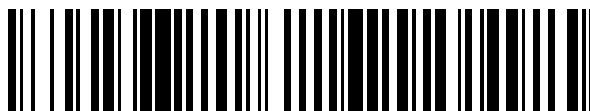


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 864 026**

51 Int. Cl.:

C04B 18/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.01.2019** **E 19152939 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.03.2021** **EP 3514121**

54 Título: **Sistema y método de tratamiento de cenizas de carbón**

30 Prioridad:

23.01.2018 US 201815877732

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

13.10.2021

73 Titular/es:

**MERCURY CAPTURE INTELLECTUAL
PROPERTY, LLC (100.0%)
12601 Plantside Drive
Louisville, KY 40299, US**

72 Inventor/es:

POLING, CHRISTOPHER L.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 864 026 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y método de tratamiento de cenizas de carbón

Campo

- 5 La presente descripción se refiere a sistemas y métodos para el tratamiento de cenizas de carbón y, más particularmente, a tratamientos que dan como resultado cenizas de carbón modificadas.

Antecedentes

- 10 Los procedimientos industriales, tales como el funcionamiento de centrales eléctricas de carbón, generalmente producen subproductos de la combustión del carbón o residuos de la combustión del carbón (colectivamente "CCR"). Los CCR son materiales que generalmente se depositan en vertederos, en embalses o se reciclan/reutilizan. Los CCR pueden tener características o constituyentes, o pueden presentar cualidades que hacen que dichos materiales no sean aptos para el reciclaje o la reutilización, lo que lleva a que se depositen en vertederos o en embalses. Estas características o cualidades pueden incluir humedad, mercurio, selenio, carbono, amoníaco, cloruros, tamaño de partículas, compuestos orgánicos, hidrocarburos u otras variables.

- 15 Las cenizas de carbón son un tipo de CCR que se producen por la combustión de carbón. Entre los tipos de cenizas de carbón producidas en la combustión de carbón se encuentran las cenizas volantes de carbón y las cenizas de fondo de carbón. Se estima que se depositan varios millones de toneladas de cenizas de carbón en vertederos o en embalses cada año en los Estados Unidos. Se estima además que más de 100 millones de toneladas adicionales ya se encuentran en vertederos o embalses. Es posible que estas cenizas depositadas en vertederos o en embalses no estén ubicadas adecuadamente en relación con las comunidades locales y los ecosistemas de aguas subterráneas. Además, los costes de reubicación de los CCR depositados en vertederos o en embalses pueden ser significativos. Además, la reubicación de los CCR no puede alterar o abordar los posibles asuntos normativos que pueden estar asociados con dichos CCR. El mercurio, por ejemplo, se continuará liberando de cualquier superficie expuesta a la atmósfera.

- 25 En vista de los desafíos que plantea depositar en vertederos o embalses los CCR, a menudo es preferible o deseable intentar reciclar o reutilizar los CCR cuando se encuentran en forma de cenizas de carbón. Los procedimientos industriales que pueden beneficiarse del uso de cenizas de carbón recicladas incluyen la producción de hormigón, premezclado, bloques, adoquines y similares. Una potencial aplicación es el uso de cenizas de carbón en el hormigón como material cementante suplementario. Sin embargo, existen desafíos para reciclar o reutilizar cenizas de carbón y otros CCR en ciertos procedimientos industriales, debido a las potenciales cualidades o características inadecuadas de los CCR, algunas de las cuales se han indicado antes.

- 35 Por lo tanto, las cenizas de carbón que contienen mercurio, carbono, exceso de humedad, amoníaco y potencialmente otros metales pesados, a menudo presentan un desafío de reciclaje o reutilización. Las cenizas volantes de carbón que contienen más de 65 ppm de amoníaco a menudo no pueden ser utilizadas por la industria del hormigón y del hormigón premezclado sin tener en cuenta los potenciales problemas de exposición. Las cenizas volantes de carbón con más de 6% de carbono (medido como % de pérdida por calcinación o "LOI") generalmente no se utilizan en las industrias del hormigón o de hormigón premezclado debido al mayor potencial de problemas de índice de espuma, problemas de arrastre por aire y problemas de detección. Las cenizas volantes de carbón con más de 2% de humedad generalmente no se usan en aplicaciones de la industria del hormigón premezclado debido a que las especificaciones de la ASTM prohíben dicha práctica. En resumen, todos estos problemas inhiben un mayor reciclaje y reutilización de las cenizas de carbón. Además, en la medida en que dichos desafíos de reciclaje conduzcan a más depósito en vertederos o embalses de cenizas de carbón u otros CCR, la incapacidad de reciclar o reutilizar los CCR aumenta los potenciales problemas normativos o ambientales asociados con el depósito en vertederos o embalses.

- 45 Los subproductos de la combustión del carbón o residuos de la combustión del carbón depositados en vertederos o embalses, tales como las cenizas de carbón, pueden reciclarse o regenerarse mediante varios procedimientos denominados generalmente "quemado de carbono". Sin embargo, estas técnicas tienen varios inconvenientes y desventajas. El procedimiento de quemado de carbono típicamente se limita al procesamiento de materiales secos con un contenido de carbono superior al 9%. Dichas combustiones a menudo no tienen en cuenta la presencia de mercurio, que puede liberarse a la atmósfera junto con amoníaco en forma de NOx. Los procedimientos actuales de quemado de carbono a menudo requieren equipos y estructuras estacionarios importantes, lo que hace que estos procedimientos tengan un coste prohibitivo para potenciales aplicaciones industriales, tal como cuando se busca que se utilicen como materiales cementantes suplementarios.

- 55 Además, si bien dicho quemado de carbono puede tratar el exceso de carbono o limitar ciertos contaminantes, generalmente no trata los metales pesados, tales como el mercurio, que pueden permanecer en la corriente de gas después del quemado de carbono, lo que requiere la aplicación adicional contraproducente de carbón activado con hidrógeno o PAC con el fin de volver a capturar los metales pesados liberados durante el propio procedimiento de quemado de carbono. Los procedimientos de quemado de carbono a menudo generan una fuente de NOx, que tiene la desventaja de contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero o pueden liberar mercurio. De hecho, en ciertos casos, la cantidad de NOx o mercurio generada por el procedimiento de quemado de carbono puede ser similar

o equivalente a la cantidad de NOx o mercurio que se buscaba eliminar por las medidas tomadas próximas al punto de combustión del carbón en sí. En tales casos, el punto de emisión de NOx o mercurio simplemente se ha movido desde el generador de energía o una fuente de combustión de carbón, y se ha concentrado en la instalación de quemado de carbono corriente abajo del mismo.

- 5 Scott D Ziegler et al. en "Fly ash carbon separation and ammonia removal in Florida", Conferencia técnica de la industria del cemento, 2013, IEEE-IAS/PCA, IEEE, 11 de abril de 2013, páginas 1-7 describe un procedimiento que usa una correa cargada eléctricamente para reducir la LOI de carbono de aproximadamente 9% a 3% y un procedimiento de pulverización de agua para reducir el contenido de amoníaco de aproximadamente 2500 ppm a aproximadamente 400 ppm.
- 10 En vista de lo anterior, sería ventajoso desarrollar sistemas y métodos de tratamiento para los CCR en forma de cenizas de carbón, dando como resultado tales tratamientos o métodos cenizas de carbón modificadas adecuadas para su uso en procedimientos industriales posteriores.

Compendio

La invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

- 15 Se describen en el presente documento sistemas y métodos de tratamiento para carbón activado agotado, carbón activado en polvo agotado (PAC) y/o residuos de combustión del carbón (CCR), tales como cenizas de carbón. En una realización ilustrativa, los sistemas y métodos de tratamiento descritos en el presente documento se refieren a la eliminación de mercurio y otros metales pesados del carbón activado agotado que se ha utilizado previamente para la reducción de la polución por metales pesados. En otra realización ilustrativa, los sistemas y métodos de tratamiento
- 20 descritos en el presente documento se refieren a la eliminación de mercurio y otros metales pesados de los CCR o subproductos tales como cenizas volantes, cenizas de fondo y/o yeso sintético. Tanto las cenizas volantes como los residuos de la desulfuración de gases de combustión (FGD) se han identificado como CCR con el potencial de tener mayores concentraciones de mercurio y/u otros contaminantes.

- 25 En otra implementación más, un procedimiento para producir cenizas de carbón modificadas implica recoger una gran cantidad de dichas cenizas de carbón, generalmente después de ser producidas o depositadas en el vertedero, o que de otro modo están a temperaturas más cercanas a la ambiente, a diferencia de las temperaturas operativas de la central eléctrica. Las cenizas de carbón recogidas generalmente tendrán 12% de LOI de carbono o menos.

- 30 Según el procedimiento de ejemplo, se forma una corriente de cenizas de carbón a partir de las cenizas de carbón recogidas, y se elimina al menos 50% del carbono de las cenizas de carbón, ocurriendo dicha eliminación en una sublimación no autosostenida del carbono. Esta sublimación se lleva a cabo sometiendo la corriente de cenizas de carbón a un calor de sublimación, variando dicho calor entre 454,44°C y 621,11°C (850°F y 1150°F), y ocurriendo dicha exposición al calor desde aproximadamente 10 minutos hasta aproximadamente 30 minutos.

- 35 El intervalo de tiempo de exposición de las cenizas de carbón se determina para reducir la LOI desde su nivel inicial a 3% de carbono o menos. Una vez completado el intervalo de tiempo de exposición, las cenizas de carbón se retiran del calor de sublimación, formando así cenizas de carbón modificadas. Como resultado del procedimiento anterior, las cenizas de carbón modificadas son adecuadas para su uso en la industria del cemento o del hormigón, tal como el uso de cenizas de carbón modificadas como material cementante suplementario o alimentación del horno.

- 40 En una posible implementación, las cenizas de carbón pueden comprender cenizas volantes de carbón o cenizas de fondo de carbón. En el caso de las cenizas de fondo de carbón, las partículas generalmente tienen un tamaño superior a 80 micrómetros. Por consiguiente, una posible etapa del procedimiento implicaría pulverizar o tamizar las cenizas de fondo o las partículas de cenizas de carbón antes o después de que hayan pasado por las diversas etapas de tratamiento anteriores para convertirse en cenizas de carbón modificadas. Las operaciones de pulverización o tamizado pueden dar como resultado que el 80% de las partículas de cenizas de carbón modificadas pasen a través de un tamiz de 45 micrómetros.

- 45 En una variación de los procedimientos según esta descripción, la gran cantidad de cenizas de carbón tiene un metal pesado asociado con la misma, y el procedimiento implicaría etapas de separación del metal pesado de la cenizas de carbón volatilizando el mercurio mientras se someten las cenizas de carbón al calor de sublimación de 454,44°C a 648,89°C (850°F a 1200°F). El metal pesado, una vez volatilizado, puede tratarse con sulfuro de metal alcalinotérreo o polisulfuro de metal alcalinotérreo.

- 50 En otros procedimientos posibles según esta descripción, las cenizas de carbón sometidas a las etapas de tratamiento anteriores están limitadas en su exposición al aire a entre 14,16 y 84,95 metros cúbicos (500 y 3000 pies cúbicos) de aire por minuto, durante el tiempo de exposición de las cenizas de carbón al calor de sublimación.

- 55 El procedimiento según esta descripción, en ciertas implementaciones, se puede llevar a cabo por medio de una unidad de desorción térmica, tal como un recipiente de volatilización rotatorio. Las cenizas de carbón recogidas se insertan como una corriente en dicho recipiente de volatilización rotatorio y se exponen al calor de sublimación

mencionado previamente. El recipiente de volatilización rotatorio puede comprender un horno rotatorio o un calcinador rotatorio.

El procedimiento según esta descripción también puede implicar someter la corriente de cenizas de carbón a un segundo intervalo de calor en forma de un intervalo de temperatura de entre 232,22°C y 398,89°C (450°F a 750°F), siendo dicho calor suficiente para transformar el amoníaco, que puede estar presente en la corriente de cenizas de carbón, en un gas. La exposición al calor gasificante en el intervalo de 232,22°C a 398,89°C (450°F a 750°F) puede, en ciertas implementaciones, variar durante un período de tiempo entre 10 minutos y 20 minutos, seleccionándose el intervalo de exposición de modo que las cenizas de carbón modificadas resultantes tengan un contenido de amoníaco reducido de 60 PPM o menos.

Un sistema para producir cenizas de carbón modificadas, según la presente descripción, puede hacer uso de un contenedor de almacenamiento de cenizas de carbón, que tiene un mecanismo de alimentación para suministrar una corriente de cenizas de carbón desde el mismo. Posteriormente, la corriente de cenizas de carbón puede entrar, directa o indirectamente, en un calcinador rotatorio que tiene una entrada en comunicación (directa o indirectamente) con el mecanismo de alimentación del contenedor de almacenamiento de cenizas de carbón. Según una implementación, el calcinador tiene múltiples zonas de calor independientes, estando dispuestas las múltiples zonas de calor independientes entre la entrada del calcinador y su salida, exponiendo así la corriente de cenizas de carbón al calor indirecto mientras está en el calcinador, variándose potencialmente dicho calor entre las zonas de calor, para incluir un calor suficiente para sublimar el carbono, un calor para gasificar el amoníaco, un calor para volatilizar el mercurio o uno o más de los anteriores solos o en combinación. El calcinador en ciertas implementaciones puede tener un régimen de descarga variable en el intervalo entre 5 y 50 toneladas por hora.

En una posible variación del sistema de la presente descripción, una unidad de tratamiento puede estar asociada operativamente con la unidad de desorción, tal como un recipiente de volatilización. La unidad de tratamiento puede estar conectada para estar en comunicación por aire (es decir, neumática) con el calcinador rotatorio. Cuando el calcinador está volatilizando el metal pesado de las cenizas de carbón recibidas en el mismo, la unidad de tratamiento recibe una corriente del metal pesado volatilizado en una cámara de tratamiento definida en la unidad de tratamiento. Se puede insertar una solución de tratamiento, tal como un sulfuro o polisulfuro de metal alcalinotérreo, en la cámara de tratamiento a través de una entrada en cantidades suficientes para ponerse en contacto con el metal pesado volatilizado y formar un precipitado de metal pesado. Por lo tanto, el sistema no solo puede usarse para reducir la LOI de carbono o las partes por millón de amoníaco contenidas en las cenizas de carbón, sino que también puede reducir la cantidad de mercurio y tratar el mercurio resultante para formar un precipitado de metal pesado.

Estos y otros aspectos de la descripción pueden entenderse más fácilmente a partir de la siguiente descripción y los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

En la figura del dibujo adjunto se ilustra una realización del sistema y método de tratamiento de residuos de combustión de carbón y carbón activado, que pretende ser de ejemplo y no limitante, en la que referencias similares son para referirse a partes similares o correspondientes, y en la que:

La Figura 1 ilustra un diagrama de una realización de un aparato y métodos relacionados para tratar carbón activado en polvo agotado (PAC) y/o residuos de combustión del carbón (CCR), incluyendo residuos en forma de cenizas de carbón.

Descripción detallada

En el presente documento se describen realizaciones detalladas de la presente invención, sin embargo, debe entenderse que las realizaciones descritas son simplemente ejemplos de la invención, que puede realizarse de diversas formas. Por lo tanto, los detalles funcionales específicos descritos en el presente documento no deben interpretarse como limitantes, sino simplemente como base para las reivindicaciones y como base representativa para enseñar a los expertos en la técnica a emplear de diversas formas la presente invención.

Se describe un sistema de tratamiento y método para tratar y/o reducir la polución del carbón activado en polvo (PAC) y/o residuos de combustión del carbón (CCR) según una realización ilustrativa con referencia a la Fig. 1. Como se ilustra en la Fig. 1, se puede recoger el PAC agotado y/o uno o más CCR 21 de un sistema de recogida de partículas, por ejemplo, un precipitador de polvos o un precipitador electrostático (ESP), y transferir a una unidad de almacenamiento 23, por ejemplo, un silo. Desde la unidad de almacenamiento, el PAC agotado y/o el(los) CCR se transfieren a un recipiente o zona de volatilización 25. Como se ilustra en la Fig. 1, el PAC agotado y/o el(los) CCR se transfieren a o a través del recipiente de volatilización 25 a través de un tornillo dosificador 27. Los expertos en la técnica deben apreciar que la configuración exacta del mecanismo de transporte, ya sea por tornillo dosificador u otros medios, y la configuración de la zona o recipiente de volatilización, así como la relación espacial entre sí, pueden variarse dependiendo de la aplicación particular, y por lo tanto se pueden usar medios o métodos para transferir el PAC agotado y/o el(los) CCR al recipiente de volatilización más allá de los ilustrados.

Para volatilizar el mercurio y/u otros metales pesados capturados en el PAC agotado y/o el(los) CCR, se añade calor al PAC agotado y/o el(los) CCR, en esta versión en la zona de volatilización 25. Por ejemplo, el punto de ebullición del mercurio es de aproximadamente trescientos cincuenta y seis y cincuenta y ocho centésimas (356,58) grados Celsius o aproximadamente seiscientos setenta y tres y ochocientos cuarenta y cuatro milésimas (673,844) grados Fahrenheit, después del cual el mercurio existe como gas. Los ensayos han demostrado que varias formas de mercurio se volatilizarán a temperaturas mucho más bajas comenzando tan bajo como cien (100) grados Celsius y se medirán en un analizador de mercurio.

En una realización ilustrativa, se puede añadir calor al PAC agotado y/o el(los) CCR en el tornillo dosificador 27 y/o en un recipiente de volatilización que rodea o sigue al tornillo dosificador. El mercurio y otros metales pesados capturados en el PAC agotado y/o el(los) CCR gastados se vaporizarán en una corriente de gas 29, generalmente combinada con la atmósfera inerte, dejando una corriente de PAC y/o CCR 31 limpia que se puede eliminar y/o reciclar al sistema. La aplicación de calor se puede variar para adaptarse al procedimiento o aplicación industrial particular. En una posible implementación, la cantidad de energía térmica gastada se adapta para que sea suficiente para separar el mercurio del PAC agotado y/o el(los) CCR, sin ser tan excesiva como para desperdiciar energía. En algunas aplicaciones, una temperatura mínima deseable para aplicar es de 356 grados Celsius, que corresponde a la temperatura de sublimación (de sólido a vapor) para el mercurio, pero nuevamente, es posible que la separación del mercurio del PAC agotado o CCR para algunos procedimientos se pueda llevar a cabo con temperaturas más bajas de hasta 150 grados Celsius, o puede ocurrir más ventajosamente a temperaturas tan altas como 500 grados Celsius.

En una realización ilustrativa, el calor residual o el exceso de calor de uno o más procedimientos dentro de la central eléctrica, horno, enfriador u otro procedimiento industrial puede usarse para elevar la temperatura del PAC agotado y/o el(los) CCR hasta el punto de causar que los metales pesados se liberen del PAC agotado y/o el(los) CCR. En ausencia de calor residual o en exceso, o si dicho calor es insuficiente, se puede asociar operativamente una fuente de calor de refuerzo o cualquier otra fuente de calor adecuada, de gas, eléctrica o de otro tipo, con el PAC agotado y/o el(los) CCR. El potencial de combustión del PAC y/o el(los) CCR existe a altas temperaturas. Por lo tanto, cuando se calienta el PAC agotado y/o el(los) CCR, en una realización preferida, la zona de volatilización 25 debe ser una atmósfera inerte, por ejemplo, una zona de agotamiento de oxígeno que contiene un contenido de oxígeno de aproximadamente dos por ciento (2%) o menos, o un gas inerte adecuado.

En otra realización ilustrativa, el PAC agotado y/o el(los) CCR se pueden calentar hasta el punto de combustión del carbono. Esto liberará cualquier metal pesado, incluido el mercurio contenido en los mismos, en la corriente de gas que puede tratarse con los reactivos químicos. Esto también da como resultado la creación de una ceniza de combustión residual, que se puede recoger y utilizar o desechar.

La corriente de aire o corriente de gas que contiene mercurio y otros metales pesados vaporizados después se puede transferir a una unidad de tratamiento. En una realización ilustrativa, una unidad de tratamiento 33 incluye, pero no se limita a conductos, cámaras y similares. Se inyecta o pulveriza una solución de tratamiento 35 en la corriente de aire que contiene el mercurio y/u otros metales pesados vaporizados, para de ese modo tratar y al menos eliminar parcialmente el mercurio y/u otros metales pesados de la corriente de aire. El patrón de pulverización, el tamaño de la gota, la velocidad de pulverización y otros parámetros de la unidad de tratamiento 33 se seleccionan para lograr los niveles de reducción de mercurio buscados para el procedimiento industrial particular. En una realización ilustrativa, la solución de tratamiento es una solución de pulverización acuosa que contiene un sulfuro y/o polisulfuro alcalinotérreo soluble en agua. En una realización, el polisulfuro de metal alcalinotérreo puede ser un polisulfuro de magnesio o un polisulfuro de calcio, y el polisulfuro de metal alcalinotérreo puede estar presente en la solución en una cantidad de aproximadamente uno por ciento (1%) a aproximadamente veintinueve por ciento (29%) en agua. En otra realización, el polisulfuro de metal alcalinotérreo es una mezcla de uno o más polisulfuros de magnesio y uno o más polisulfuros de calcio, en donde los polisulfuros están presentes en la solución en una cantidad de aproximadamente uno por ciento (1%) a aproximadamente veintinueve por ciento (29%) en agua.

Los expertos en la técnica deben apreciar que la cantidad de sulfuro y/o polisulfuro alcalinotérreo en la solución de tratamiento puede variar fuera de los intervalos citados anteriormente. En muchas aplicaciones, el objetivo económico puede ser utilizar la menor cantidad de sulfuro y/o polisulfuro alcalinotérreo como sea operativamente posible. Por ejemplo, la cantidad de sulfuro y/o polisulfuro alcalinotérreo usada puede variar dependiendo de la dispersión en la corriente de aire, la velocidad de la corriente de aire, la concentración de mercurio y otros metales pesados en la corriente de aire y otros parámetros similares.

En una realización ilustrativa, la solución de tratamiento puede incluir uno o más agentes catalizadores que tengan un pH de aproximadamente siete (7) o más, tal como un fosfato adecuado. Sin embargo, los expertos en la técnica deben apreciar que dependiendo del pH del PAC y/o el(los) CCR y/o la corriente de aire que contiene el mercurio y/u otros metales pesados vaporizados, puede no usarse el agente catalizador.

En otra realización ilustrativa, la solución de tratamiento puede incluir uno o más tensioactivos, dispersantes y/o hiperdispersantes. En una realización, el tensioactivo, dispersante y/o hiperdispersante está compuesto por uno o más copolímeros de bloques de poli(óxido de etileno)-polietileno y/o sus ésteres de fosfato. La adición del tensioactivo, dispersante y/o hiperdispersante al fluido de tratamiento puede ser opcional. Cuando se incluye el tensioactivo, dispersante y/o hiperdispersante, el tensioactivo, dispersante y/o hiperdispersante se pueden proporcionar en una

cantidad suficiente para ayudar a mantener el agente de reacción o reactivo en el fluido de tratamiento antes de la reacción con el(los) metal(es). Además, la solución de tratamiento puede incluir el sulfuro y/o polisulfuro alcalinotérreo, uno o más tensioactivos, dispersantes y/o hiperdispersantes y uno o más agentes catalizadores.

En una realización ilustrativa, tras el tratamiento de la corriente de aire con la solución de tratamiento, el mercurio y/u otros metales pesados vaporizados precipitan de la corriente de aire y el precipitado se puede filtrar. El precipitado es el residuo del procedimiento y sistema de tratamiento descritos anteriormente, en forma de mercurio y/u otros metales pesados y contaminantes. Este residuo se puede recoger o de lo contrario filtrar por cualquier medio adecuado, en esta implementación mostrada como un silo de residuos 37. En relación con la manipulación del mercurio u otros residuos contaminantes, el mercurio y/u otros metales pesados recogidos después se pueden procesar más, reciclar o de lo contrario desechar de manera adecuada. Se puede usar un pequeño filtro de partículas 39, mostrado corriente abajo del silo 37, como parte del procedimiento de tratamiento de residuos y, en ciertas implementaciones, puede colocarse o configurarse de otro modo para capturar la porción de metales pesados de la corriente de gas resultante. Asimismo, se pueden emplear otros implementos y equipos de procesamiento en relación con el residuo formado por el procedimiento de tratamiento, de manera que el mercurio u otros metales pesados sean capturados en forma seca o en forma líquida, tal como una suspensión, dependiendo del procedimiento industrial, objetivos o cualquier número de parámetros. El mercurio u otros residuos de metales pesados recogidos a través de este procedimiento pueden implicar todavía más características o formas, dependiendo de la aplicación.

El aire limpio restante después se expulsa a la atmósfera a través de un sistema de recogida de partículas. Cualquier residuo que se capture más en el sistema de recogida de partículas puede devolverse al contenedor de almacenamiento.

En una realización ilustrativa, el sistema y el método de tratamiento ilustrados en la Fig.1 pueden usarse para tratar el PAC agotado y/o el(los) CCR de una forma continua o discontinua para eliminar el mercurio y/u otros metales pesados del PAC y/o el(los) CCR a medida que aumentan las concentraciones en el PAC y/o el(los) CCR. La base discontinua puede adaptarse o responder a mediciones de la cantidad de mercurio y/u otros metales pesados extraídos de una o más muestras de PAC y/o el(los) CCR.

En una realización ilustrativa, el recipiente de volatilización puede adoptar una variedad de formas, que incluyen, pero no se limitan a, conductos, cámaras y otros recipientes del tipo. El sistema de recogida de partículas puede ser cualquiera de la variedad de aparatos adecuados para capturar, filtrar o recoger de otro modo polvo de plantas industriales o centrales eléctricas y otras diversas operaciones. Dada la variedad de configuraciones posibles de plantas industriales o centrales eléctricas, los expertos en la técnica deben apreciar que el sistema de recogida de partículas, así como el aparato o sistema para tratar el PAC agotado y/o el(los) CCR, pueden estar operativamente asociados con una o más operaciones de la planta industrial o central eléctrica capaz de recibir material para su tratamiento, en un número variado de ubicaciones adecuadas en relación con los componentes de la planta industrial o central eléctrica. En muchas implementaciones posibles, el aparato de tratamiento estará operativamente asociado con el procedimiento industrial para recibir el PAC agotado y/o el(los) CCR después de su punto de recogida en la instalación, y para devolver el PAC y/o el(los) CCR limpios antes de su punto de introducción en el procedimiento industrial.

En una posible implementación, el sistema de tratamiento y el método relacionado se utilizan en relación con cenizas de carbón, tales como cenizas volantes de carbón o cenizas de fondo de carbón, y se emplean varias etapas de procesamiento y equipos relacionados para así producir cenizas de carbón modificadas adecuadas para su uso como un material cementante suplementario. En tal implementación, la unidad de almacenamiento 23 tiene la forma de un contenedor de almacenamiento de cenizas de carbón.

Se recoge una gran cantidad de cenizas de carbón y luego se almacenan en la unidad de almacenamiento 23. Las cenizas de carbón se pueden recoger de un número variado de fuentes de procedimientos de postproducción, tales como después de que las cenizas de carbón se hayan generado por combustión del carbón en una central eléctrica, y preferiblemente las cenizas de carbón están a una temperatura igual o más cercana a la ambiente, no a las temperaturas de combustión asociadas con las operaciones de la central eléctrica. Las cenizas de carbón también se pueden recoger de un embalse o un vertedero en donde se habían puesto después de haber sido recogidas previamente en un sistema de recogida de partículas.

Las cenizas de carbón se forman en una corriente de cenizas de carbón por la alimentación adecuada desde la unidad de almacenamiento de cenizas de carbón 23, mediante un mecanismo de transporte o alimentación, tal como un tornillo dosificador 27 mostrado en la Fig. 1. El mecanismo de alimentación o transporte está adaptado para suministrar la corriente de cenizas de carbón desde el contenedor 23 hasta el recipiente o zona de volatilización 25. Aunque el tornillo dosificador 27 se muestra esquemáticamente en la Fig. 1 extendiéndose hacia la zona de calentamiento 25, otras configuraciones están igualmente dentro del alcance de esta descripción. En una posible disposición, el tornillo dosificador 27 comprende un mecanismo de transporte o alimentación en forma de un alimentador de tipo tornillo que sale del depósito de almacenamiento 23, pero dicho alimentador no se extiende al recipiente 25 y en su lugar suministra la corriente de cenizas de carbón al lado de entrada o zona de entrada del recipiente de volatilización rotatorio 25. Aún otras configuraciones para alimentar cenizas de carbón desde el depósito de almacenamiento 23 a

la zona de calor 25 están igualmente dentro del alcance de esta descripción, y tales mecanismos de alimentación no necesitan limitarse a un tornillo dosificador.

Las cenizas de carbón pueden recibirse dentro de un tambor giratorio de dicho recipiente 25 y se someten a calor indirecto cuando el tambor giratorio del recipiente 25 se expone al calor externo. El recipiente 25 está orientado o de otro modo adaptado para transportar las cenizas de carbón recibidas en el mismo a través de una o más zonas de calentamiento, después de lo cual las cenizas de carbón salen del tambor giratorio. En una versión, las cenizas de carbón salen del tambor giratorio de una unidad de desorción o calcinador giratorio por medio de otro dispositivo de transporte, tal como un transportador de tipo tornillo u otro transportador, mostrado dicho dispositivo de transporte esquemáticamente debajo del recipiente 25 en la Fig. 1.

El recipiente o zona de volatilización 25 puede tener la forma de una unidad de desorción térmica, tal como un horno rotatorio, un calcinador rotatorio u otra forma de recipiente de volatilización rotatorio. El recipiente o zona de volatilización 25 puede someterse a calor directo, es decir, una llama dentro del tambor o cámara que actúa sobre la cantidad de cenizas de carbón recibidas dentro del tambor o cámara a través del contacto directo o convección de aire o gas. Alternativamente, o además, la cantidad de cenizas de carbón recibidas en el tambor o cámara del recipiente de volatilización 25 puede someterse a calor indirecto, es decir, calor suministrado externamente al tambor o cámara del recipiente de volatilización 25 en donde se reciben las cenizas de carbón.

Las cenizas de carbón adecuadas para el procesamiento según esta descripción pueden tener una LOI que varía dependiendo de una serie de factores y, en consecuencia, la gran cantidad o corriente correspondiente de las cenizas de carbón se puede caracterizar por una LOI promedio y desviaciones de dicha LOI promedio. Si la gran cantidad de cenizas de carbón procesada a continuación proviene de un procedimiento de producción único o similar o existencias de carbón únicas o similares, las desviaciones del promedio de la LOI de las cenizas de carbón correspondientes pueden ser menores y el procedimiento puede reflejar una corriente de cenizas de carbón que tiene una LOI más consistente a través de la gran cantidad que se procesa.

Las cenizas de carbón que tienen una LOI superior a 9% pueden procesarse según esta descripción y, durante dicho procesamiento, la totalidad o una parte de dichas cenizas de carbón pueden sufrir una reacción de combustión autosostenida que elimina el carbono de las mismas. En una posible implementación, el procesamiento de cenizas de carbón que induce dicha combustión autosostenida se puede llevar a cabo de manera eficiente y efectiva dentro de un recipiente de volatilización rotatorio 25 que tiene un régimen de descarga que varía de 5 a 50 toneladas por hora, y dicho recipiente puede ser del tipo que expone la corriente de cenizas de carbón a calor indirecto, como se describió anteriormente. Las cenizas de carbón que tienen una LOI de carbono de 9% o menos también pueden procesarse según esta descripción, haciendo dichas LOI generalmente que las cenizas de carbón sean difíciles o inadecuadas para la combustión autosostenida. Para dichos intervalos de LOI, la corriente de cenizas de carbón puede recibirse en la unidad de desorción térmica, tal como un horno rotatorio o un calcinador rotatorio en esta implementación, y se somete a al menos una zona de calor que varía entre 454,44°C y 648,89°C (850°F y 1200°F). Esta exposición al calor se produce durante un tiempo de exposición en un intervalo de entre 10 minutos y 30 minutos, para así exponer las cenizas de carbón a una sublimación no autosostenida del carbono que contiene. Esta sublimación contrasta con la combustión autosostenida descrita anteriormente.

En una implementación preferida, el tiempo de exposición del procedimiento reduce la LOI de las cenizas de carbón de entre 3% y 9% a 3% o menos. El recipiente de volatilización rotatorio, tal como el horno rotatorio o el calcinador rotatorio, utiliza calor indirecto y dicho recipiente puede estar separado de los hornos del procedimiento industrial subyacente. Así pues, una implementación del procedimiento descrito reduce ventajosamente la LOI de las cenizas de carbón sin requerir hornos rotatorios de fabricación de cemento u otros hornos de procedimientos industriales de calor directo que transportan material en presencia de combustión real. Además, los recipientes de volatilización rotatorios de calor indirecto de la presente implementación permiten un mayor control de las zonas de calentamiento en términos de temperatura y tiempos de exposición.

Según un posible procedimiento, la corriente de cenizas de carbón se somete a un calor de sublimación indirecto que está en el intervalo entre 454,44°C y 648,89°C (850°F y 1200°F), y el intervalo de exposición puede seleccionarse para eliminar al menos 50% del carbono de las cenizas de carbón, reduciendo la LOI de las cenizas de carbón a 3% o menos, de modo que son adecuadas como material cementante suplementario como cenizas de carbón modificadas.

Se realizaron las siguientes demostraciones, según la descripción descrita anteriormente. Se procesaron cenizas volantes de carbón que no son adecuadas para su uso como material cementante debido a la cantidad de amoníaco presente en las cenizas. Estas mismas cenizas tampoco eran adecuadas para su uso como materia prima de un horno de cemento debido a las concentraciones de mercurio. Además, el procedimiento también se utilizó para reducir la LOI en las cenizas, lo que las hace más comerciales para la industria del hormigón. Los resultados del ensayo se tabulan a continuación:

Tabla 1

<i>parámetro</i>	Cenizas volátiles de carbón sin procesar		Cenizas volátiles de carbón procesadas		reducción porcentual
	<i>resultado</i>	<i>unidades</i>	<i>resultado</i>	<i>unidades</i>	<i>resultado</i>
<i>Muestra compuesta 1</i>					
Pérdida por calcinación a	1,71%		0,27%		84,21%
Mercurio		40200 ppb	<100 ppb		99,75%
Nitrógeno	353 ppm			32 ppm	71,67%
<i>Muestra compuesta 2</i>					
Pérdida por calcinación a	1,86%		0,43%		76,88%
Mercurio	3870 ppb		<100 ppb		97,42%
Nitrógeno	431 ppm			37 ppm	76,80%
Pérdida por calcinación a			0,21%		88,71%
Mercurio			<100 ppb		97,42%
Nitrógeno				44 ppm	76,80%
<i>Muestra compuesta 3</i>					
Pérdida por calcinación a	1,74%		0,21%		87,93%
Mercurio	4140 ppb		<100 ppb		97,58%
Nitrógeno	385 ppm			51 ppm	74,03%
<i>Muestra compuesta 4</i>					
Pérdida por calcinación a	1,86%		0,39%		79,03%
Mercurio	1380 ppb		<100 ppb		92,75%
<i>Muestra compuesta 5</i>					
Pérdida por calcinación a	16,20%		1,18%		92,72%
Mercurio	1310 ppb		<100 ppb		92,37%
<i>Muestra compuesta 6</i>					
Pérdida por calcinación a	1,41%		0,46%		67,38%
Mercurio	1184 ppb		<100 ppb		91,55%
<i>Promedio de las muestras anteriores</i>					
Pérdida por calcinación a	4,13%		0,49%		88,14%
Mercurio	8681 ppb		<100 ppb		98,85%
Nitrógeno	390 ppm			40 ppm	89,73%

Además, estas mismas cenizas se utilizaron para demostrar el rendimiento en el hormigón. Estos resultados se muestran a continuación.

Tabla 2

Muestra	Día 7 kg/cm ² (PSI)	Día 28 kg/cm ² (PSI)	Día 7 SAI (%)	Día 28 SAI (%)	Req. de agua (%)	Aire para 18% (g)
Control	383,2 (5450)	450,0 (6400)	---	-	-	0,5690
Material compuesto nº 1	360,0 (5120)	464,7 (6610)	94	103	96	0,4094
Material compuesto nº 2	381,1 (5420)	495,0 (7040)	99	110	95	0,3806
Material compuesto nº 3	362,8 (5160)	457,0 (6500)	95	102	95	0,5285

Definiciones de la tabla 2

PSI: Libra por pulgada cuadrada Resistencia a la compresión

SAI: Índice de actividad de resistencia

Req. de agua: Requisito de agua

Aire para 18%: arrastre de aire

- 5 Los materiales compuestos expuestos en la Tabla 2, específicamente, los materiales compuestos nº 1-3, comprenden cenizas de carbón modificadas que tienen una LOI de carbono por debajo de 3 por ciento, amoníaco por debajo de 60 ppm y mercurio por debajo de 100 PPB. Según lo indicado por PSI, SAI, Req. de agua y Aire para 18% tabulados en la Tabla 2, el procedimiento para producir las cenizas de carbón modificadas se llevó a cabo sin exposiciones o condiciones inseguras, y sin comprometer la idoneidad de las cenizas de carbón modificadas resultantes para otros
- 10 fines. Como tal, las cenizas generadas no están dañadas y están listas para ser utilizadas, por ejemplo, como material cementante que cumple con todos los requisitos necesarios de la ASTM y del mercado.

- 15 Las cenizas volantes de carbón, cuando se procesan según esta implementación, pueden dar como resultado cenizas de carbón modificadas caracterizadas porque 80% de las partículas de cenizas de carbón modificadas pasan a través de un tamiz de 45 micrómetros, logrando tales características sin etapas adicionales de pulverización o tamizado. En el caso de las cenizas de fondo u otras cenizas de carbón que tengan partículas mayores de 80 micrómetros, la presente implementación puede incluir etapas adicionales de pulverización o tamizado, ya sea de las cenizas de carbón recogidas antes de sus etapas de tratamiento, o realizando dichas etapas en las cenizas de carbón modificadas resultantes después del tratamiento como se mencionó anteriormente.

- 20 Los sistemas y métodos de la presente descripción pueden exponer las cenizas de carbón a uno o más intervalos de calor durante uno o más intervalos de tiempo, para eliminar componentes indeseables de las cenizas de carbón y producir cenizas de carbón modificadas sin las desventajas asociadas de tales componentes indeseables. Además de reducir la LOI de carbono por debajo de 3%, las cenizas de carbón pueden someterse a una temperatura de 232,22°C a 398,89°C (450°F a 750°F) y durante un período de tiempo en el intervalo de 10 minutos a 20 minutos, el periodo de tiempo seleccionado para reducir el amoníaco, que puede estar presente en las cenizas de carbón, siendo la reducción tal que las cenizas de carbón modificadas tengan 60 PPM o menos de amoníaco en las mismas. La exposición al calor en los intervalos de temperatura mencionados anteriormente hace que el amoníaco presente en la corriente de cenizas de carbón se gasifique y da como resultado la producción de óxidos y otros efluentes, que pueden tratarse para así reducir los riesgos de exposición. Estos mismos gases que pasan a través del sistema de tratamiento darán como resultado emisiones de N₂ frente a NO_x.

- 30 En ciertas implementaciones, los procedimientos descritos anteriormente pueden incluir limitar la exposición de las cenizas de carbón a entre 11,33 y 84,95 metros cúbicos (400 y 3000 pies cúbicos) de aire por minuto. Esta limitación de la exposición al aire se puede llevar a cabo ventajosamente cuando el recipiente de volatilización 25 tiene la forma de un calcinador rotatorio. La limitación de exposición al aire anterior puede mejorar la eficiencia del procesamiento, especialmente cuando las etapas de eliminación de carbono se combinan con las etapas de tratamiento para eliminar el mercurio volatilizado, tal como por medio de una unidad de tratamiento 25 mostrada en la Fig. 1.

- 35 Cuando es deseable eliminar el mercurio de las cenizas de carbón, tal como reducir el mercurio de más de 200 PPB a menos de 100 PPB, se ha descubierto que la corriente de cenizas de carbón se beneficia de la exposición al calor de sublimación en el intervalo de 343,33-454,44°C (650-850°F), preferiblemente con una temperatura objetivo o promedio de aproximadamente 355,56°C (672°F), es decir, la temperatura de sublimación del sulfuro de mercurio, y durante un tiempo de exposición en el intervalo de 20 a 30 minutos. En un protocolo posible, la corriente de cenizas de carbón se expone primero al calor de sublimación de 510,00°C a 621,11°C (950°F a 1150°F) durante 10 minutos con el propósito de reducir el porcentaje de LOI de carbono al comienzo del procedimiento, y la corriente de cenizas de carbón se expone posteriormente a la temperatura de gasificación más baja de 343,33-454,44°C (650 a 850°F) para los propósitos de volatilización del mercurio y de 232,22°C a 398,89°C (450°F a 750°F) para gasificar el amoníaco,
- 40 ocurriendo dichas exposiciones a temperaturas más bajas durante un periodo de tiempo en el intervalo de 10 a 20 minutos adicionales más allá de los 10 minutos iniciales usados para la sublimación del carbono.
- 45

Además de los intervalos de temperatura y los tiempos de exposición descritos anteriormente, la rotación del recipiente de volatilización rotatorio 25 voltear los CCR, tal como cenizas de carbón, recibidas en el mismo. Así pues, los CCR/cenizas de carbón están expuestos no solo al ambiente calentado del recipiente 25 sino a la corriente de gas transportadora de la gasificación de metales pesados y/o amoníaco. El oxígeno en dicha corriente de gas contribuirá a la sublimación (o combustión) del carbono al ponerse en contacto con el carbono, contribuyendo a la reducción del porcentaje de LOI. Se puede variar aún más la rotación del recipiente 25, dependiendo de la aplicación, para lograr la LOI deseada u otras características de las cenizas de carbón modificadas que salen del recipiente 25. Las velocidades de rotación adecuadas pueden variar de 1/2 RPM a 10 RPM dependiendo del diseño del recipiente y según sea necesario para lograr tiempos de retención objetivo. Se apreciará que se proporcionan una o más salidas, canales o conductos de escape (mostrados esquemáticamente en 29) en comunicación con el recipiente de volatilización rotatorio para llevarse, para el tratamiento posterior según sea necesario, el amoníaco gasificado, el mercurio volatilizado u otros componentes transportados por el aire formados durante el tratamiento de las cenizas de carbón modificadas de acuerdo con el presente documento.

El funcionamiento del sistema y los procedimientos relacionados según esta descripción son fácilmente evidentes a partir de la descripción anterior. En una posible implementación, las cenizas de carbón, incluidas las cenizas volantes y/o las cenizas de fondo de carbón, se recogen en grandes cantidades y se someten a calor de sublimación, preferiblemente de naturaleza indirecta, y tienen una temperatura superior a 454,44°C e inferior a 648,89°C (850°F y menos de 1200°F). En una implementación particular, las cenizas de carbón recogidas se insertan en un calcinador rotatorio tal como una corriente de cenizas de carbón y se exponen a un intervalo de calor superior a 482,22°C e inferior a 621,11°C (900°F y menor que 1150°F) como se muestra en la Tabla 3 a continuación. En otra implementación más, la temperatura del calor se mantiene dentro de +27,78°C (+50°F) de un promedio de 510°C (950°F).

Tabla 3

	Cenizas volátiles de carbón sin procesar	Cenizas volátiles de carbón procesadas	reducción porcentual
	resultado unidades	resultado unidades	resultado
Cenizas volantes de carbón 1 a 510°C (950 F) Pérdida por calcinación a	8,37 %	2,10%	74,91%
Cenizas volantes de carbón 2 a 621,11°C (1150 F) Pérdida por calcinación a	10,60 %	3,00%	71,70%
Cenizas volantes de carbón 3 a 593,33°C (1100 F) Pérdida por calcinación a	8,00 %	1,26 %	84,25%
Cenizas volantes de carbón 4 a 510°C (950 F) Pérdida por calcinación a	1,79 %	0,30 %	83,15%

El procedimiento según esta descripción puede incluir etapas opcionales adicionales. Por tanto, en un enfoque, las temperaturas objetivo para una ceniza particular pueden determinarse o estimarse antes de someter la cantidad grande de cenizas de carbón o la corriente de cenizas de carbón a las etapas de calentamiento o tiempos de exposición a los que se hace referencia en el presente documento. Tal determinación o estimación anticipada puede implicar la aplicación de una escala de temperaturas para someter a calor muestras de la corriente de cenizas de carbón que se va a procesar a una pluralidad de temperaturas específicas y mantener tales temperaturas, durante un período de 30-60 minutos. La LOI para cada ceniza se ensaya antes y después de cada etapa de temperatura específica, siendo dichas etapas, por ejemplo, incrementos de entre 50 - 100 grados Fahrenheit (los incrementos en °C se calculan según la fórmula $(x^{\circ}\text{F} - 32) \cdot 5/9$). El cambio en la LOI en diferentes etapas comprende datos que se pueden usar para dirigirse o estimar una temperatura dentro del intervalo de 454,44° a 648,89°C (850° a 1200°F) para lograr una reducción objetivo de la LOI para las cenizas de carbón modificadas que se van a producir. Además, es posible que dicha escala de temperaturas pueda determinar si una ceniza particular es adecuada para el procesamiento descrito en el presente documento.

El calor, según esta implementación, ya sea directo o indirecto, puede limitarse a una temperatura máxima para así mantener el recipiente de volatilización rotatorio, tal como el calcinador rotatorio, sustancialmente exento de silicatos fundidos. La formación de tales componentes fundidos es indeseable e interfiere con los procedimientos de reducción de carbono asociados con el tratamiento de las cenizas de carbón y la producción de cenizas de carbón modificadas adecuadas para su uso como material cementante suplementario.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir cenizas de carbón modificadas, comprendiendo el procedimiento:

recoger una cantidad grande de cenizas de carbón, habiendo sido previamente generadas las cenizas de carbón por combustión de carbón, teniendo la cantidad de cenizas de carbón al menos una de las características de 6% o más de pérdida por calcinación de carbono y 60 ppm o más de amoníaco;

insertar las cenizas de carbón recogidas como una corriente de cenizas de carbón en un recipiente de volatilización rotatorio;

someter la corriente de cenizas de carbón, mientras está en el recipiente de volatilización rotatorio, a al menos una de las siguientes etapas de calentamiento:

 - (i) un calor indirecto de sublimación, en donde la temperatura y el tiempo de exposición del calor de sublimación se seleccionan para reducir la pérdida por calcinación de carbono a menos de 3% y el tiempo de exposición seleccionado está en el intervalo de 10 minutos a 30 minutos y la temperatura seleccionada está en el intervalo de 454,44°C a 648,89°C (850°F a 1200°F); y
 - (ii) un calor de gasificación, en donde la temperatura y el tiempo de exposición del calor de gasificación se seleccionan para reducir el amoníaco a 60 ppm o menos y el tiempo de exposición seleccionado está en el intervalo de 10 minutos a 20 minutos y la temperatura seleccionada está en el intervalo de 232,22°C a 398,89°C (450°F a 750°F);

limitar la exposición de las cenizas de carbón a entre 11,33 y 84,95 metros cúbicos (400 y 3000 pies cúbicos) de aire por minuto mientras están en el recipiente de volatilización rotatorio; y

descargar las cenizas de carbón del recipiente de volatilización rotatorio a un régimen de descarga en el intervalo entre 5 y 50 toneladas por hora una vez completada la etapa de calentamiento para formar cenizas de carbón modificadas.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la etapa de recogida comprende recoger una cantidad grande de cenizas de carbón que tiene metal pesado asociado con las mismas, y comprende además las etapas de separar el metal pesado de las cenizas de carbón volatilizando el metal pesado mientras se lleva a cabo la etapa de aplicación del calor indirecto a las cenizas de carbón y tratar el metal pesado volatilizado con al menos uno de un sulfuro de metal alcalinotérreo o polisulfuro de metal alcalinotérreo.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la etapa de aplicar el calor indirecto incluye además la etapa de limitar la temperatura máxima.
4. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la etapa de limitar la exposición comprende limitar la exposición de las cenizas de carbón a entre 25,49 y 84,95 metros cúbicos (900 y 3000 pies cúbicos) de aire por minuto mientras están en el recipiente de volatilización rotatorio.
5. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la etapa de someter la corriente de cenizas de carbón a calor comprende sustancialmente quemar el carbono en la corriente de cenizas de carbón o sublimar sustancialmente el carbono.
6. El procedimiento de la reivindicación 5, en donde la etapa de recoger las cenizas de carbón comprende recoger la cantidad grande para tener una pérdida por calcinación de carbono promedio de más de 9% o una pérdida por calcinación de carbono promedio de 9% o menos.
7. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además llevar a cabo al menos una de las etapas de pulverización o tamizado, en donde dicha al menos una etapa se realiza antes de la etapa de inserción en las cenizas de carbón o después de la etapa de descarga en las cenizas de carbón modificadas, para formar partículas de cenizas de carbón modificadas, en donde 80% de las partículas de cenizas de carbón modificadas pasan a través de un tamiz de 45 micrómetros.
8. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la etapa de recoger la cantidad grande comprende recoger una cantidad grande de cenizas de carbón que consiste sustancialmente en cenizas volantes de carbón.
9. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la etapa de insertar las cenizas de carbón recogidas como una corriente de cenizas de carbón en el recipiente de volatilización rotatorio comprende insertar la corriente de cenizas de carbón en un horno rotatorio y un calcinador rotatorio.
10. Un sistema para producir cenizas de carbón modificadas, comprendiendo el sistema:

un recipiente de almacenamiento de cenizas de carbón (23) que tiene un mecanismo de alimentación adaptado para suministrar una corriente de cenizas de carbón;

5 un recipiente de volatilización rotatorio (25) que tiene una entrada en comunicación con el mecanismo de alimentación, teniendo el recipiente de volatilización rotatorio múltiples zonas de calor independientes, teniendo el recipiente de volatilización rotatorio un extremo de entrada para recibir la corriente de cenizas de carbón, un extremo de descarga, y múltiples zonas de calor independientes para exponer la corriente de cenizas de carbón a calor indirecto mientras están en el recipiente de volatilización rotatorio, estando configuradas las múltiples zonas de calor independientes para someter la corriente de cenizas de carbón a al menos una de las siguientes etapas de calentamiento:

(i) un calor indirecto de sublimación; y

(ii) un calor gasificante;

10 teniendo el recipiente de volatilización rotatorio un régimen de descarga variable selectivamente entre 5 y 50 toneladas por hora; y

15 una unidad de tratamiento (33) en comunicación neumática con el recipiente de volatilización rotatorio para recibir una corriente de metal pesado volatilizado de las cenizas de carbón, teniendo la unidad de tratamiento una cámara de tratamiento definida en la misma, teniendo la cámara de tratamiento una entrada adaptada para recibir una solución de tratamiento allí en cantidades suficientes para ponerse en contacto con la corriente de metal pesado volatilizado y formar un precipitado de metal pesado, teniendo la cámara de tratamiento un orificio de escape a través del cual salen los compuestos gasificados formados dentro de la cámara durante el calentamiento de las cenizas de carbón.

Fig. 1

