

SISTEMA DE VALORIZACIÓN DE CENIZAS DEPOSITADAS EN ESTANQUES Y MÉTODOS RELACIONADOS

REFERENCIA CRUZADA A APLICACIONES RELACIONADAS

- 5 Esta solicitud reclama la prioridad de la Solicitud de Patente Provisional de EE. UU. N.º 63/157,550, presentada el 5 de marzo de 2021, cuya exposición íntegra se considera forma parte de la presente, como referencia.

CAMPO DE LA INVENCIÓN

- 10 La presente divulgación se relaciona con el tratamiento de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques en general, y a las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques que, en particular, no cumplen con las especificaciones de la norma ASTM para cenizas volantes de Clase "F" o Clase "C".

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

- 15 Las cenizas volantes de carbón se generan como subproducto de la operación de centrales eléctricas de carbón junto con escoria de caldera, cenizas de fondo y yeso FGD. En conjunto, estos se conocen como Subproductos de la Combustión del Carbón. Los Subproductos de la Combustión del Carbón pueden tener propiedades químicas, elementos constituyentes, contaminaciones cruzadas o cualidades físicas que hacen que el material no sea apto para una reutilización valorizada como materia prima secundaria. Los
- 20 Subproductos de la Combustión del Carbón que no pueden utilizarse como materia prima secundaria o para una reutilización valorizada se depositan en vertederos o en estanques. Las características iniciales de las cenizas volantes de carbón que llevan a que estos materiales se envíen a un vertedero o estanque generalmente incluyen tamaño de partículas gruesas, alto contenido de azufre, pérdida por ignición (PPI) > 6% (alto contenido de

carbono) y bajas concentraciones de elementos constituyentes como Calcio, Sílice, Alúmina o Hierro.

Las centrales eléctricas de carbón generan como subproducto de combustión unas cenizas volantes de carbón consistentes según el tipo de carbón utilizado y el diseño de la propia caldera. Si bien el diseño de la caldera no cambió durante la vida útil de la central eléctrica de carbón, la fuente de carbón sin procesar sí cambió significativamente debido a las regulaciones ambientales y consideraciones económicas. Todas las cenizas generadas a partir de diversas fuentes de carbón se enviaban al mismo vertedero de cenizas de carbón o al mismo estanque. Se ha descubierto que esta variabilidad en la fuente del carbón es evidente en la mezcla de cenizas en un vertedero o en un estanque. Esta variabilidad en las cenizas de carbón contribuye aún más a la falta de reciclaje de éstas como materia prima secundaria debido a la inconsistencia. Los elementos constituyentes como calcio, sílice, alúmina, hierro, azufre y titanio, además de la pérdida por ignición, pueden variar ampliamente en un solo vertedero o estanque.

Las cenizas volantes de carbón que se han depositado en un vertedero o en un estanque se oxidarán con el tiempo y aumentará el tamaño de las partículas. Este proceso químico natural conduce a un aumento del tamaño de las partículas con la correspondiente disminución de la reactividad debido a la oxidación de la superficie de las partículas. Los álcalis como el potasio, el calcio, el magnesio y el sodio presentes en la partícula de ceniza se combinan con el agua y forman depósitos en la superficie de la partícula. El hierro y el aluminio presentes en las cenizas formarán enlaces con el oxígeno de la atmósfera, que también formará depósitos en la superficie de las partículas. Las cenizas de carbón depositadas en vertederos o estanques no cumplen con la especificación de la norma ASTM

para el tamaño de las partículas, lo que contribuye aún más a la falta de reciclaje como materia prima secundaria debido a su variabilidad, reactividad limitada y tamaño de las partículas.

5 Las cenizas volantes de carbón que se han depositado en un vertedero o en un estanque aumentarán su contenido de humedad. Esta actividad natural se debe a la exposición a la atmósfera a lo largo del tiempo desde que se depositan. Las cenizas volantes de carbón húmedas no cumplen con la especificación de la norma ASTM para el contenido de humedad, lo que contribuye aún más a la falta de reciclaje como materia prima secundaria debido a problemas de manipulación de materiales, variabilidad, reactividad
10 reducida y desempeño general deficiente de la mezcla.

Las cenizas volantes de carbón que se han depositado en un vertedero o en un estanque se contaminarán aún más con compuestos orgánicos y/o hidrocarburos. Los compuestos orgánicos a menudo se derivan de los procesos naturales que rodean el vertedero o el estanque. Los pastos crecerán en la superficie y diversas formas de vida
15 utilizarán el vertedero o el estanque para procesos naturales.

Los hidrocarburos provenientes del equipo pesado utilizado para crear el vertedero o para recuperar la escoria de caldera de un estanque también se encuentran a menudo en áreas específicas donde el equipo fue repostado o sufrió una fuga.

20 Las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques son inherentemente diferentes a las cenizas volantes de carbón recién generadas "fuera de especificación" según el estado de oxidación, el contenido de humedad, la materia orgánica, la variabilidad química, los hidrocarburos, la exposición a los elementos y el crecimiento del tamaño de las partículas que se produjeron durante el tiempo que

estuvieron en el vertedero o estanque. Un sistema de valoración de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques debe abordar estos problemas recurrentes, además de reducir la pérdida por ignición.

Esto se ejemplifica con más detalle en los estudios a continuación:

5 *“Las reacciones de las cenizas volantes con el agua son complejas y se producen cambios químicos y físicos significativos dentro de los depósitos de cenizas tratadas durante períodos de varios meses a varios años. La exposición a los elementos afectan el desempeño de las cenizas volantes y pueden limitar su uso como puzolana para hormigón...”*

- 10 - *Se producen sales que contienen iones de sodio, potasio, calcio, magnesio, sulfato, carbonato e hidróxido, particularmente como depósito en la superficie...*
- *Hay una reducción de la superficie total.*
- *Los productos de la reacción se depositan sobre las partículas de ceniza y*
- 15 *actúan como barrera a la reacción puzolánica.”*

[University of Dundee, ‘Coal Combustion Products in the United Kingdom and the Potential of Stockpile Ash’ Mayo de 2015.]

20 *“El almacenamiento húmedo provoca cambios en las propiedades físicas y químicas de las cenizas volantes. Inicialmente, se forman fuerzas de cohesión entre partículas húmedas, y luego reacciones químicas conducen a la aglomeración. Se ha observado que esto provoca un aumento en el requerimiento de agua y una reducción en la reactividad.”*

25 [University of Dundee, Innovative Processing of Stockpile Fly Ash Working Draft Report, Enero de 2019.]

Las cenizas volantes de carbón son uno de los mayores tipos de desechos industriales generados en los Estados Unidos. Según el Informe de la Encuesta sobre Producción y Uso de Productos de la Combustión del Carbón de la Asociación Estadounidense de Cenizas de Carbón, solo en 2014 se generaron casi 130 millones de toneladas de cenizas de carbón.

Los vertederos y los estanques para Subproductos de la Combustión del Carbón se encuentran dispersos por todo el mundo. Según la Regla de Residuos de Combustión de Carbón de 2015, solo en Estados Unidos existen más de 738 instalaciones de este tipo. Esta regla especifica que todos los estanques superficiales sin revestimiento deben modernizarse o cerrarse. Además, la regla establece una fecha revisada, el 11 de abril de 2021, para la cual los estanques superficiales sin revestimiento y las unidades que no cumplieron con la restricción de la ubicación del acuífero deben dejar de recibir desechos e iniciar el cierre o la modernización. La EPA determinó esta nueva fecha después de una revisión exhaustiva de la información del cronograma de construcción presentada durante el período de comentarios públicos. En esencia, los propios estanques de Subproductos de la Combustión del Carbón serán remediados y eliminados. Por lo general, esto requiere la remoción y reubicación del material de desecho en un vertedero adecuadamente revestido. El impacto del costo de reubicar las cenizas volantes de carbón será significativo y aún será posible que se produzcan posibles cambios regulatorios.

Se prefiere reutilizar las cenizas volantes de carbón como materia prima secundaria en lugar de reubicarlas o enterrarlas en otro vertedero. Una aplicación es el uso de cenizas volantes de carbón como material de construcción en hormigón. El reciclaje de cenizas volantes de carbón en hormigón es un desafío debido a las posibles cualidades o

características inadecuadas de los Subproductos de la Combustión del Carbón, descritas anteriormente. Además de estas características, es posible que el mercado local no soporte el costo adicional para la valoración de cenizas en términos de volumen o precio.

Las cenizas volantes de carbón recién generadas se pueden reciclar mediante
5 diversos procesos, incluida la quema de carbono y la separación triboeléctrica. Cada una de estas técnicas tiene desventajas específicas que impiden que se adapten ampliamente a las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques. Cada proceso requiere un material seco que fluya libremente y funciona mejor con valores de pérdida por ignición superiores al 6% e idealmente al 9%. Las cenizas volantes de carbón depositadas
10 en vertederos o en estanques son inherentemente gruesas, húmedas y contaminadas con sustancias orgánicas y desechos que no serían utilizables en un lecho fluidizado o en un sistema triboeléctrico.

La quema de carbono en lecho fluidizado y la separación triboeléctrica requieren grandes equipos estacionarios permanentes, estructuras de soporte y cimientos. El costo
15 total de estas instalaciones es prohibitivo para mercados pequeños con volúmenes limitados. Además, estos sistemas mencionados anteriormente no pueden procesar cenizas húmedas que son típicas de las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques. Los sistemas antes mencionados no pueden procesar cenizas que contengan desechos o partículas que no puedan fluidizarse. Los sistemas alternativos de quema de
20 carbono no han obtenido la aceptación de la industria debido a una combinación de costos y emisiones de sulfuro de hidrógeno de depuradores integrados patentados.

Ninguno de los procesos actuales aborda los problemas de estado de oxidación, contenido de humedad, crecimiento del tamaño de partículas, compuestos orgánicos,

hidrocarburos, separación de partículas o requisitos de mezcla debidos a la química de las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques. Las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques no podrían procesarse exitosamente a través de este sistema sin modificaciones importantes. La ceniza producida resultante de estos sistemas queda limitada al tamaño de partícula, el contenido de humedad, la química y el estado de oxidación de la ceniza de alimentación fresca y seca proporcionada directamente por una central eléctrica de carbón.

En vista de lo anterior, sería deseable superar los inconvenientes y desventajas de los sistemas y métodos actuales para reciclar las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques de manera eficiente y efectiva y para la valoración más eficiente o más efectiva las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques, con dichos tratamientos o métodos dando como resultado una ceniza de carbón valorizada mejorada y adecuada para su uso en materiales de construcción de hormigón como ceniza Clase 'C' o Clase 'F', que cumplen con todos los estándares de la norma ASTM.

15 **RESUMEN DE LA DESCRIPCIÓN**

En una posible implementación, un proceso para la valoración de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques implica formar una corriente de cenizas volantes de carbón que tiene más del 2 % de pérdida por ignición de carbono. Normalmente, dicho flujo de cenizas volantes de carbón se forma recogiendo cenizas volantes de carbón de uno o más estanques o vertederos. El flujo de cenizas volantes de carbón se somete a ciertos pasos de procesamiento discutidos en el presente documento, que incluyen someter el flujo a temperaturas elevadas lo suficientemente por encima de la temperatura ambiente para eliminar al menos el 75 % del carbono de las cenizas volantes de carbón. Las características de las cenizas volantes de carbón se determinan de modo que

se utilicen temperaturas elevadas apropiadas para tratar las cenizas volantes de carbón con el fin de eliminar al menos el 75 % del carbono. Se inyecta aire o se añade de otro modo al procesamiento del flujo de cenizas volantes de carbón para crear una atmósfera rica en oxígeno mientras se somete dicho flujo de cenizas volantes de carbón a la temperatura elevada. La atmósfera rica en oxígeno también está predeterminada en función de una o más características de las cenizas volantes de carbón recogidas de modo que dicha atmósfera, en combinación con las temperaturas elevadas predeterminadas, reduzca la pérdida por ignición de las cenizas volantes de carbón al 2% o menos cuando dichos pasos se realizan durante un tiempo de procesamiento y, por lo tanto, forman una ceniza volante de carbón valorizada.

El proceso, en una versión, incluye pasos para formar una ceniza volante de carbón valorizada caracterizada por un mínimo del 66% de las partículas de ceniza volante de carbón valorizada que pasan a través de un tamiz de 44 micrones.

Otras etapas de procesamiento de las cenizas volantes de carbón valorizadas pueden implicar la inserción de las mismas en un sistema separado adaptado para reducir el tamaño de las partículas y la oxidación de las cenizas volantes de carbón valorizadas.

El procesamiento podría implicar la inserción de las cenizas volantes de carbón en fases anteriores del proceso en un recipiente para reducción de humedad.

Un sistema adecuado para realizar las diversas etapas de procesamiento del presente documento para formar cenizas volantes de carbón valorizadas implica una tolva que tiene un mecanismo de alimentación para entregar cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques como una corriente continua. Los procesos de reducción de carbono se pueden realizar en un horno de reducción de carbono que tiene múltiples zonas

de calor independientes para exponer el flujo de cenizas volantes de carbón al calor indirecto. La tasa de descarga del horno de reducción de carbono puede variar entre diferentes toneladas por hora y, en una implementación adecuada, puede variar entre 5 y 50 toneladas por hora.

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

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- Una o más implementaciones del sistema y método de valoración de cenizas depositadas en estanque se ilustran en las figuras del dibujo adjunto, que pretende ser
10 ejemplar y no limitativo, en el que referencias similares pretenden referirse a partes similares o correspondientes, y en el que:

La Fig. 1 es un diagrama esquemático de una posible implementación de un sistema, aparato asociado y métodos relacionados para la valoración de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques;

- 15 La Fig. 2 es una tabla que establece los resultados de las pruebas realizadas con cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques relacionadas con la reducción del tamaño de las partículas, resultados obtenidos empleando el sistema y los métodos relacionados de esta divulgación;

- La Fig. 3 es una tabla que establece los resultados de las pruebas realizadas con
20 cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques relacionadas con la reducción de la pérdida por ignición, resultados obtenidos empleando el sistema y los métodos relacionados de esta divulgación;

La Figura 4 es una tabla que establece los resultados de las pruebas realizadas con cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques relacionadas con los

resultados y el desempeño de las pruebas realizadas con hormigón, resultados obtenidos empleando el sistema y los métodos relacionados de esta divulgación;

La Fig. 5 es una fotografía de microscopio electrónico de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos antes de ser procesadas de acuerdo con esta divulgación;

5 La Fig. 6 es una fotografía de microscopio electrónico de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos después de ser procesadas de acuerdo con esta divulgación; y

La Figura 7 es una tabla resumen que muestra el desempeño de las cenizas volantes de carbón valorizadas en hormigón después de emplear adecuadamente el sistema y los
10 métodos relacionados de esta divulgación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Un método adecuado para lograr algunas o todas estas mejoras a través de la valoración es un Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques (Ponded Ash Beneficiation System, PABS) que incluye un recipiente de volatilización, como un
15 horno de reducción de carbono, integrado con un secador, clasificadores, tamices y equipo especializado para la reducción del tamaño de las partículas y la eliminación de la oxidación. La integración de adiciones durante el proceso o adiciones de mezclas depende de las cenizas volantes de carbón específicas y se pueden introducir en varios lugares del proceso de valoración o en un solo lugar.

20 En una realización ilustrativa, los sistemas y métodos de tratamiento divulgados en el presente documento se relacionan con la reducción de hidrocarburos, compuestos orgánicos, humedad y contenido de pérdida por ignición en las cenizas volantes de carbón, las que previamente habían sido producidas y depositadas en vertederos, o desechadas en vertederos o estanques de cenizas de carbón junto a una central eléctrica de carbón.

En otra realización ilustrativa, los sistemas y métodos de tratamiento divulgados en el presente documento se relacionan con la reducción del tamaño de partículas de las cenizas volantes de carbón oxidadas que previamente habían sido producidas y depositadas en vertederos, o desechadas en vertederos o estanques de cenizas de carbón junto a una central eléctrica de carbón. La oxidación y el crecimiento del tamaño de las partículas de las cenizas volantes de carbón ocurren con el tiempo después de ser desechadas debido a la mala calidad o la química de las cenizas volantes de carbón cuando primero se generaron. La oxidación se elimina físicamente de la superficie y se crean nuevas áreas superficiales mediante la reducción del tamaño de las partículas.

En otra realización ilustrativa, los sistemas y métodos de tratamiento divulgados en el presente documento se relacionan con la adición de mezclas o adiciones durante el proceso antes de la reducción del tamaño de las partículas de las cenizas volantes de carbón oxidadas, las que previamente habían sido producidas y depositadas en vertederos, o desechadas en vertederos o estanques de cenizas de carbón junto a una central eléctrica de carbón.

En otra realización ilustrativa, los sistemas y métodos de tratamiento divulgados en el presente documento se relacionan con la adición de mezclas o adiciones durante el proceso antes de la reducción de la pérdida por ignición de las cenizas volantes de carbón, las que previamente habían sido producidas y depositadas en vertederos, o desechadas en vertederos o estanques de cenizas de carbón junto a una central eléctrica de carbón.

En aún otra realización ilustrativa, los sistemas y métodos de tratamiento divulgados en el presente documento se relacionan con la reducción de la pérdida por ignición, la reducción de la humedad, y la adición de mezclas o adiciones durante el

proceso antes de la reducción del tamaño de las partículas de las cenizas volantes de carbón, las que previamente habían sido producidas y depositadas en vertederos, o desechadas en vertederos de o estanques cenizas de carbón junto a una central eléctrica de carbón.

En una implementación ilustrativa, un método para la valoración de cenizas
5 volantes de carbón puede incluir los siguientes pasos: excavar las cenizas volantes de carbón para crear acopios de cenizas volantes de carbón para realizar pruebas. Estos diversos acopios se mezclarán mecánicamente para crear una química objetivo homogénea que será adecuada para la Clase "F" después del procesamiento; recoger las cenizas volantes mezcladas y calentar los materiales recogidos a temperaturas adecuadas para el
10 secado para crear una partícula de cenizas volantes que fluya libremente; recoger las cenizas volantes de carbón que fluyen libremente y tamizarlas para eliminar una fracción gruesa específica de escoria de carbón o cenizas de fondo (si es necesario); recoger las cenizas volantes de carbón que fluye libremente, tamizadas o sin tamizar; eliminar la oxidación mientras se reduce el tamaño de las partículas de modo que el material resultante
15 cumpla con la norma ASTM; recoger las cenizas volantes de carbón de tamaño reducido de partículas y calentarlas a una temperatura tal y durante un período adecuado con un equilibrio de aire controlado para volatilizar el carbono o carbonato y sublimar formas específicas de azufre; mantener esta temperatura el tiempo suficiente para forzar al carbono o carbonato a una volatilización controlada para crear las cenizas volantes de carbón
20 valorizadas que se utilizarán como materia prima secundaria en el hormigón.

En ciertas implementaciones, el proceso para producir cenizas volantes de carbón valorizadas implica recoger y realizar pruebas de grandes cantidades de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques provenientes de un acopio excavado.

Se pueden realizar pruebas o determinar de otro modo que las cenizas volantes de carbón recogidas tienen las siguientes características:

1. contenido de humedad superior al 3% y hasta el 40%.
2. distribución del tamaño de las partículas en donde menos del 66% pasan por 44 micrones y tiene partículas de hasta 1500 micrones.
3. 30% de pérdida por ignición o menos
4. otras posibles deficiencias químicas relacionadas con el calcio, la sílice, el aluminio y el hierro
5. otras posibles deficiencias en el desempeño del hormigón relacionadas con la entrada de aire, la demanda de agua, la resistencia o la trabajabilidad
6. presencia medible de hidrocarburos y compuestos orgánicos

En un proceso ejemplar, hay cuatro pasos de procesamiento generales para obtener cenizas volantes valorizadas: (1) se excava el estanque o vertedero de cenizas volantes de carbón para crear acopios de cenizas volantes de carbón adecuadas para pruebas y mezclas. (2) los acopios mezclados generalmente se crean para cumplir con un solo día de los requerimientos del Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques, teniendo en cuenta las pérdidas relacionadas con la humedad, los desechos y la reducción de la pérdida por ignición. Se crean múltiples acopios para permitir la mezcla de acopios seleccionados para lograr los requerimientos químicos específicos antes del procesamiento en el Paso 2.

En el paso 2, las cenizas volantes de carbón recogidas se mezclan en una corriente común y la humedad se reduce al menos en un 95 %, lo que da como resultado una corriente de cenizas volantes de carbón secas y que fluyen libremente. Esta reducción de humedad

se logra tamizando el material hasta $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro o menos y sometiendo el flujo de cenizas volantes de carbón a calor directo, dicho calor oscilando entre 212° F y 350° F, y dicha exposición al calor ocurre preferiblemente de 20 minutos a 60 minutos. El rango de exposición al calor de las cenizas volantes de carbón se determina para reducir el

5 Contenido de Humedad de su nivel inicial al 3% de humedad o menos. Una vez completada la eliminación de la humedad, las cenizas volantes de carbón secas se transfieren al Paso 3, preferiblemente directamente, para el tamizado y la clasificación, la reducción del tamaño de las partículas y/o adiciones de mezclas o adiciones durante el proceso.

En el Paso 3, las cenizas volantes de carbón secas se mezclan en una corriente

10 común y el tamaño de las partículas se reduce en un 95%, lo que da como resultado una corriente de cenizas volantes de carbón finas, secas, y que fluyen libremente. Esta reducción del tamaño de partícula se realiza para obtener un tamaño de partícula altamente angular y una mayor área superficial. Usando un molino de bolas vibratorio tradicional, un molino de barras o un molino de rodillos vertical, esto se logra dosificando la alimentación

15 en el fondo del molino y aumentando el tiempo de retención. En otra realización preferida, la reducción del tamaño de las partículas de las cenizas volantes de carbón secas se logra usando un molino aeroacústico, un molino de chorro o un molino de resonancia. El principio de funcionamiento del molino aeroacústico de variación de presión extrema separa la oxidación de la superficie de las cenizas volantes secas mientras fractura las

20 partículas de ceniza restantes sin triturarlas. La reducción del tamaño de las partículas se confirma utilizando un separador o clasificador dinámico con el material de gran tamaño siendo recirculado para una mayor reducción del tamaño de las partículas o eliminación de la oxidación.

En otra posible implementación del Paso 3, las cenizas volantes secas que fluyen libremente pueden analizarse químicamente, después de lo cual se dosifican con adiciones de mezclas químicas o adiciones durante el proceso adecuadas para cumplir con las especificaciones químicas y garantizar que se haya logrado la homogeneización completa y a fondo de las cenizas finas, secas y que fluyen libremente. Una vez completada la reducción del tamaño de partículas y/o las adiciones de mezclas o adiciones durante el proceso antes mencionadas o adicionales, las cenizas volantes de carbón finas y secas se transfieren, preferiblemente directamente, al Paso 4 para la reducción de hidrocarburos, compuestos orgánicos y pérdida por ignición y/o adiciones de mezclas o adiciones durante el proceso.

En el Paso 4, las cenizas volantes de carbón finas y secas se mezclan en una corriente común y se reduce la pérdida por ignición, lo que da como resultado una corriente de cenizas volantes de carbón valorizadas. Esta volatilización o sublimación se logra preferiblemente sometiendo la corriente de cenizas volantes de carbón finas y secas a calor indirecto, calor que oscila preferiblemente entre 950°F y 1150°F, y dicha exposición al calor ocurre preferiblemente de 20 minutos a 90 minutos.

En dicho procesamiento también pueden ser adecuados intervalos de temperatura y tiempo más bajos, dependiendo del material que se esté tratando o de la aplicación prevista. El tiempo de retención de las cenizas volantes de carbón finas y secas tiene como objetivo reducir la pérdida por ignición de su nivel inicial a 2% de carbono o menos. Una vez completado el intervalo de tiempo de exposición, las cenizas finas y secas y que fluyen libremente se retiran del calor indirecto. Luego, las cenizas se enfrían para formar cenizas volantes de carbón valorizadas. Un uso adecuado de las cenizas volantes de carbón

valorizadas es en la industria del hormigón, como material cementoso complementario que cumple y supera todas las especificaciones de la norma ASTM C618 u otras especificaciones industriales aplicables.

En otra posible implementación del Paso 4, se dosifican adiciones de mezclas químicas específicas o adiciones durante el proceso en la corriente de cenizas finas, secas y que fluyen libremente antes o inmediatamente después de la reducción de la pérdida por ignición. El momento, la dosificación y otros parámetros pueden determinarse por la naturaleza química de las adiciones de mezcla o las adiciones durante el proceso en relación con las características de la corriente de cenizas, como los puntos de temperatura de sublimación y las interacciones químicas, así como la química deseada o las características del producto valorizado resultante.

En otra posible variación del Paso 3, las cenizas pueden mezclarse con otra corriente de adiciones durante el proceso o material cementoso y enviarse a reducción del tamaño de partículas para generar una mezcla ternaria de cenizas valorizadas. La mezcla ternaria de cenizas volantes de carbón valorizadas es adecuada para su uso en la industria del hormigón como material cementoso complementario que cumple y supera todas las especificaciones de la norma ASTM C618.

Un paso adicional contemplado en el presente documento se relaciona con la recuperación de calor y el tratamiento de gases de escape, y permite que los gases de escape del Paso 1 se utilicen como reemplazo parcial del aire de combustión del Paso 4 como aire precalentado. En otra implementación posible, el escape del filtro del colector de polvo también puede dirigirse como reemplazo parcial del aire de combustión en el Paso 4. Esta adición permite que el horno de reducción de carbono funcione como un oxidante térmico

y destruya las emisiones nocivas. Este paso también permite precalentar el aire de combustión, reduciendo los requerimientos energéticos y mejorando la eficiencia.

Otro paso en ciertas implementaciones utiliza el escape del Paso 4 como una porción del aire de entrada para el Paso 2. Este paso permite el precalentamiento del material en sí antes de ingresar al Paso 2, lo que reducirá aún más los requerimientos de energía y mejorará la eficiencia.

Aún otra variación se relaciona con aspectos del paso 4 anterior y se relaciona con la reducción de carbono. Por ejemplo, el bajo volumen concentrado de emisiones de gases de efecto invernadero que no han estado en contacto con las cenizas volantes de carbón se pueden aprovechar para la producción de algas. Esto permitirá que la parte de reducción de carbono del Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques opere con cero emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del proceso de reducción de carbono. Las algas resultantes luego se pueden secar y utilizar como combustible de reemplazo del carbón en un proceso del horno de cemento.

En implementaciones posteriores, el método se puede implementar por medio de un Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques en forma de instalación estacionaria modular que procesa varios cientos de miles de toneladas por año de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques.

Tal enfoque modular para el diseño de un Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques también puede permitir que el sistema se haga portátil a sitios de trabajo específicos para la aplicación temporal de los procesos aquí divulgados. El volumen total de procesamiento puede ser función de las características del propio material, o de los límites físicos del equipo portátil. En su forma portátil, el Sistema de Valorización

de Cenizas Depositadas en Estanques se puede implementar para mejorar las cenizas volantes de carbón mientras se valoriza únicamente el aspecto deficiente de las cenizas sin tener que tratar los aspectos de las cenizas que ya están en cumplimiento con la norma.

Por ejemplo, el Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques puede incluir uno o más módulos para realizar subconjuntos de procesos para lograr uno o más de lo siguiente:

1. Reducir la pérdida por ignición sin reducir el tamaño de las partículas/ la oxidación
2. Reducir el tamaño de las partículas/ la oxidación sin reducir la pérdida por ignición
3. Reducir la pérdida por ignición y el tamaño de las partículas/ la oxidación sin reducir la humedad de la corriente de alimentación.
4. Reducir la pérdida por ignición y la humedad sin reducir el tamaño de las partículas/la oxidación
5. Reducir el tamaño de las partículas/la oxidación sin reducir la humedad de la corriente de alimentación.

Los procesos del Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques divulgados en el presente documento incluyen el tratamiento de una primera gran cantidad de las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques y la generación de cenizas volantes de carbón valorizadas como una segunda gran cantidad, y la segunda gran cantidad de la corriente valorizada tiene menos masa que la primera gran cantidad. En algunas aplicaciones, la reducción de masa entre la primera y la cuarta gran cantidad puede ser de hasta un 30%-40%, como ocurre con las cenizas volantes de carbón húmedas

después de la valorización. La reducción de masa puede ser mayor para estas cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques, dependiendo de la humedad, la pérdida por ignición, los desechos u otras características de las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques tratadas. Independientemente de la
5 cantidad de reducción de masa, la corriente mejorada es sustancialmente cenizas volantes de carbón valorizadas libres de la pluralidad de factores que actualmente impiden su uso.

En una implementación, el Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques utiliza un horno de reducción de carbono que está diseñado específicamente para acomodar las cenizas volantes de carbón particulares que están siendo procesadas. Las
10 variaciones del diseño de dicho horno de reducción de carbono pueden estar relacionadas con la selección, disposición o configuración de uno o más componentes de dicho horno de reducción de cenizas, como el tamaño y la ubicación de un anillo interno de retención de cenizas, el diseño de los sellos de la corriente de alimentación o el diseño de las paletas elevadoras internas. En ciertas implementaciones, el anillo de retención interno se coloca
15 en un punto dentro del horno de reducción de carbono donde la parte upstream se enfoca en eliminar la humedad restante y la partes downstream se enfoca en reducir la pérdida por ignición. En dirección upstream del anillo de retención interno, el entorno de procesamiento se mantiene bajo presión negativa para garantizar que la humedad eliminada no cree una capa de vapor de cara a las cenizas en dirección downstream. Una capa de
20 vapor de este tipo en una ubicación downstream puede inhibir la reducción de la pérdida por ignición y afectar negativamente a la eficiencia energética.

Las operaciones y componentes del Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques se seleccionan o configuran de manera que el equilibrio de aire dentro del propio horno de reducción de carbono mejore o maximice la eficiencia térmica.

En dirección upstream del anillo de retención interno, el horno de reducción de carbono está configurado para eliminar sustancialmente cualquier humedad restante del material. En una implementación adecuada, no se proporciona aire adicional a esta ubicación y, en consecuencia, el horno de reducción de carbono se mantiene a una presión negativa en dirección upstream del anillo de retención interno. En dirección downstream del anillo de retención interno, el entorno de procesamiento se mantiene en una atmósfera controlada rica en oxígeno en función del contenido de carbono de las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques. Este equilibrio de carbono (pérdida por ignición) en relación con el oxígeno asegura que haya suficiente oxígeno disponible dentro del horno de reducción de carbono para crear CO₂. Esta parte del horno de reducción de carbono se puede mantener bajo dicha atmósfera rica en oxígeno a un nivel suficiente para asegurar o aumentar las garantías de que la pérdida por ignición se reduce en las cantidades requeridas, y que los productos de dicho procesamiento se transportan con el aire húmedo al filtro de recolección de polvo de carbono ubicado en dirección downstream. Lo anterior garantiza que el Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques proporcione suficiente oxígeno a la ubicación específica de reducción de pérdida por ignición dentro del horno de reducción de carbono.

La sección de paletas elevadoras dentro del horno de reducción de carbono está diseñada preferiblemente para exponer las cenizas volantes de carbón siendo procesadas a los flujos de gas internos sin crear un volumen significativo de polvo en el aire. En un

diseño adecuado, las paletas elevadoras pueden ser secciones angulares ventiladas o secciones curvas ventiladas montadas a lo largo de la cara interna del horno de reducción de carbono. El ángulo de las paletas elevadoras es tal que genera una suave cascada de cenizas volantes de carbón contra el tambor sin inducir violentas corrientes ascendentes.

5 En una implementación preferida, el horno de reducción de carbono está configurado para permitir un control preciso del rodillo de rotación de las cenizas volantes de carbón siendo procesadas antes y después del anillo de retención interno.

Ciertas implementaciones ejemplares de los sistemas anteriores y métodos relacionados para el tratamiento de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o
10 en estanques se describen a continuación con referencia más particular a las Figs. 1-7 del presente. La Figura 1 es un diagrama esquemático de una posible implementación de un sistema, aparato asociado y métodos relacionados para la valoración de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques.

Como se ilustra en la Fig. 1, las cenizas volantes de carbón se pueden acopiar,
15 probar y transferir a un alimentador (1), por ejemplo, un alimentador de arcilla o un alimentador de sinfín contrarrotativo. Desde el alimentador, las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques se transfieren a un secador (2), por ejemplo, un secador de tambor giratorio o un secador aeroacústico. Como se ilustra en la Fig. 1, las cenizas volantes de carbón secas se transfieren a, o través de, el tamiz de material grueso
20 para eliminar rocas y/o materiales orgánicos grandes a través de un tamiz vibratorio de ángulo alto (3). Las cenizas volantes de carbón tamizadas y secas se transfieren a un sistema de reducción del tamaño de las partículas (4), como un molino de jaula, un molino de rodillos vertical o un dispositivo aeroacústico para la reducción del tamaño de las

partículas. Un sistema de recirculación (5) separa las partículas gruesas para su reprocesamiento, utilizando componentes como un separador de alta eficiencia o un separador ciclónico. Después de la reducción del tamaño de las partículas, las cenizas volantes de carbón se transfieren a un recipiente de volatilización para la reducción de la pérdida por ignición (6), como un horno de reducción de carbono. El enfriamiento y transporte de las cenizas valorizadas se logra mediante un tornillo de transferencia térmica (o dispositivos similares) y medios de transporte en dirección downstream.

La configuración exacta de los mecanismos de transporte, ya sea por transferencia neumática, elevador de cangilones, tornillo dosificador u otros medios, y la configuración del secador, tamiz, zona o recipiente para la reducción del tamaño de partículas o volatilización, así como su relación espacial entre sí, puede variar dependiendo de la aplicación particular, por lo que se pueden usar medios o métodos para transferir las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques a los componentes de referencia más allá de los ilustrados.

La Fig. 2 es una tabla que establece los resultados de las pruebas para cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques relacionadas con la reducción del tamaño de las partículas, resultados obtenidos empleando el sistema y los métodos relacionados de esta divulgación.

Como se ilustra en la Fig. 2, los datos ilustran el aspecto de reducción del tamaño de partículas del material antes y después del procesamiento utilizando los sistemas y métodos relacionados divulgados en este documento, como el Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques descrito en este documento. Como se muestra, antes de dicho procesamiento, el 100 % de las muestras sin procesar de múltiples muestras de

cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques no alcanzaron que el 66% de las partículas pasaran por 44 micrones, y el tamaño de partícula más común demostró que menos del 25 % de las partículas pasaban por 44 micrones. Después del procesamiento a través del sistema de reducción del tamaño de las partículas como se divulga en el presente documento, se demostró que una cantidad significativa de los materiales logró el objetivo, y las muestras restantes se enviaron para reprocesamiento como parte de la carga de recirculación integrada.

La Fig. 3 es una tabla que establece los resultados de las pruebas para cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques relacionadas con la reducción de la pérdida por ignición, resultados obtenidos al emplear el sistema y los métodos relacionados de esta divulgación. La Fig. 4 es una tabla que establece los resultados de las pruebas para cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques en relación con los resultados y el desempeño en las pruebas realizadas con hormigón, resultados obtenidos al emplear el sistema y los métodos relacionados de esta divulgación.

Como se ilustra en la Figura 3 y la Figura 4, el contenido de pérdida por ignición de 2 diferentes cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques, con tamaño reducido de sus partículas, se redujo a menos del 2 %. A modo de explicación de las tablas:

- Figura 3: El Gráfico 1 ilustra una pérdida por ignición inicial de 5,11% y una pérdida por ignición valorizada de 1,76%.
- Figura 4: El Gráfico 2 ilustra una pérdida por ignición inicial del 17,5% y una pérdida por ignición valorizada del 0,5%

Las Figuras 5 y 6 son fotografías de microscopio electrónico de cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos antes de ser procesadas de conformidad con esta divulgación.

Como se ilustra en la Figura 5 y la Figura 6, se puede observar un cambio de valorización significativo tanto en la forma, los depósitos superficiales y el tamaño de las cenizas antes del procesamiento con el Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques comparado con después del procesamiento.

La Figura 7 es una tabla resumen que muestra el desempeño de las cenizas volantes de carbón valorizadas en hormigón después de emplear adecuadamente el sistema y los métodos relacionados de esta divulgación.

Como se ilustra en la Figura 7, las cenizas volantes de carbón depositadas en vertederos o en estanques funcionan bien en el hormigón después de ser procesadas a través del Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques. La tabla demuestra coherencia entre varias fuentes de cenizas.

La novedad y las ventajas de los métodos y sistemas descritos anteriormente son evidentes a partir de la descripción anterior. Entre ellos, el Sistema de Valorización de Cenizas Depositadas en Estanques divulgado, en comparación con la quema de carbono tradicional o la separación triboeléctrica, tiene las siguientes distinciones y ventajas:

- Eficiencia mejorada debido a:
 - i. rango de temperatura más específico
 - ii. mejor equilibrio específico entre aire y carbono
 - iii. mayor homogeneización de las cenizas
 - iv. tiempo de retención específico

- v. tamaño de partícula reducido
- vi. separación de partículas integrada
- vii. recirculación de material
- viii. potencial de recuperación de calor residual
- 5 ix. aplicación de energía eléctrica o combustible de hidrógeno como fuente de calor (cuando corresponda).
- Diseño de procesos mejorado
 - i. independiente de una central eléctrica de carbón
 - ii. diseño modular de componentes primarios
 - 10 iii. portátil/reubicable una vez agotada la fuente de cenizas
 - iv. amplia gama de variación de la corriente de alimentación
 - v. 100% disponible en diseño eléctrico
- Producto terminado mejorado debido a:
 - i. homogeneidad de la ceniza valorizada
 - 15 ii. mezcla integrada de adiciones de mezcla
 - iii. mezcla integrada de adiciones durante el proceso para mezclas ternarias
 - iv. tamaño de partícula consistente
 - v. forma de partícula angular
 - 20 vi. mayor área superficial de las partículas
 - vii. aumento del rendimiento de la Cenósfera
 - viii. pérdida por ignición < 2%
 - ix. reducción de azufre y cloro

- 5
- x. trabajabilidad mejorada
 - xi. mayor fuerza
 - xii. eliminación de oxidación
 - xiii. destrucción de hidrocarburos
 - xiv. destrucción de compuestos orgánicos