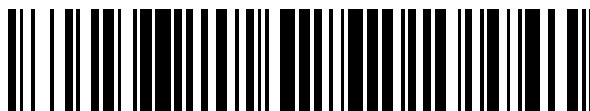


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 693 279**

51 Int. Cl.:

F23J 1/00 (2006.01)

C04B 18/08 (2006.01)

F23C 99/00 (2006.01)

C04B 111/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2009 PCT/EP2009/004936**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.01.2011 WO11003428**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2009 E 09777034 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 2452125**

54 Título: **Método e instalación para la reducción de partículas de cenizas volantes por combustión rápida**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.12.2018

73 Titular/es:
CEMEX RESEARCH GROUP AG (100.0%)
Römerstrasse 13
2555 Brügg bei Biel, CH

72 Inventor/es:
VAZQUEZ FAVELA, JAVIER;
RAMIREZ CARRERO, MARIA CLAUDIA;
SOSA BLANCO, CÉSAR ALBERTO y
BOLIO ARCEO, HUGO

74 Agente/Representante:
ISERN JARA, Jorge

ES 2 693 279 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

Método e instalación para la reducción de partículas de cenizas volantes por combustión rápida

5 Campo de la invención

La invención se refiere en general a métodos e instalaciones para la reducción de cenizas volantes carbonosas.

10 Las cenizas volantes son un subproducto derivado de la combustión de carbón en plantas de calderas y similares, producidas en cantidades muy grandes en las centrales eléctricas de energía eléctrica de carbón en todo el mundo. El carbón pulverizado se introduce a las plantas de calderas donde se quema este carbón, produciendo así dos tipos de cenizas: una ceniza ligera "volante" finamente dividida que se arrastra en suspensión en los productos gaseosos de combustión y una ceniza más pesada "de fondo" que cae a la parte inferior de la cámara de combustión y se retira de allí. Las cenizas volantes pueden separarse de la corriente de gas de combustión arrastrada por un
15 precipitador electrostático o un colector mecánico más un precipitador electrostático en serie.

Químicamente, las cenizas volantes contienen una mezcla heterogénea de óxidos de hierro, silicio, aluminio y calcio y normalmente el 5 % o más de carbono. Físicamente, la ceniza volante es un material particulado extremadamente
20 fino y liviano. Como ejemplo, más del 95 % en peso de cenizas volantes pasa una pantalla de malla 100 y más del 60 % en peso pasa una pantalla de malla 325.

Las cenizas volantes se pueden utilizar para una variedad de fines. Principalmente, se usa como sustituto o aditivo para el cemento en el hormigón de cemento Portland. De hecho, las características puzolánicas de las cenizas volantes lo califican como un sustituto del cemento Portland en la fabricación de hormigón. Algunas de las ventajas atribuidas a dichas cenizas volantes como aditivo para hormigón incluyen una mayor vida útil de la estructura del
25 hormigón, mejores características de flujo y bombeo del hormigón, mejor trabajabilidad y capacidad de acabado, y una disminución en la cantidad de agua requerida en la mezcla de hormigón. Además, sustituir el cemento Portland con cenizas volantes en el cemento o en el hormigón reduce la huella ambiental en comparación con una aplicación basada en el cemento Portland al 100 %, ya que la producción de cemento libera CO₂.

30 Algunas cenizas volantes que se pueden recolectar tienen un contenido de carbono (medido por la Pérdida durante la ignición (Loss on Ignition-LOI)) de aproximadamente el 0,5 al 4 %. Estas cenizas pueden venderse como aditivo mineral aceptable para su uso en hormigón de cemento Portland según los estándares establecidos en la norma ASTM C-618-92a, que limita la LOI máxima para las clases F y C de cenizas volantes al 6 %.

35 Sin embargo, no todas las cenizas volantes poseen un contenido de carbono tan bajo como para pasar los estándares provistos en la norma ASTM C-618. Estas partículas de cenizas volantes no conformes tienen un contenido de LOI superior al 6 %, a veces del orden del 6 % al 20 % y no pueden utilizarse como sustituto de una porción de cemento Portland. De hecho, la presencia de partículas de carbón sin quemar en las cenizas volantes de la combustión del carbón afecta adversamente la capacidad de las cenizas volantes para poder usarlas como
40 aditivos en el hormigón.

El aire se atrapa naturalmente en el hormigón a través de la acción de plegado y cizallamiento de la mezcla de la pasta de cemento durante la operación de procesamiento por lotes o mezcla de hormigón. Sin embargo, se ha
45 demostrado que las cenizas volantes con alto contenido de carbón causan una reducción indeseable en el aire arrastrado en el hormigón porque el carbón no quemado en las cenizas volantes tiene una amplia distribución de tamaños de partículas que oscilan desde partículas de carbono amorfo de carbón grueso (> 75 µm) hasta hollín muy fino (= 40 nm) que tienen un área específica muy alta (Gao, Y. M., H. S. Shim, et al., "Effects of Carbon on Air Entrainment in Fly Ash Concrete: Role of Soot and Carbon Black", Energy & Fuels 11, 457, 1997). Por lo tanto, la durabilidad del hormigón para los ciclos de congelación y descongelación que dependen de su nivel de arrastre de
50 aire se ve afectada negativamente por la presencia de carbono sin quemar. Por lo tanto, la presencia de carbono altera significativamente la consistencia y la cantidad de aire arrastrado en una mezcla de hormigón en la que se ha usado ceniza volante como sustituto del cemento Portland.

55 Además, las cenizas volantes con alto contenido de carbono proporcionan una apariencia de superficie aceitosa u oscura sobre las superficies de hormigón terminadas, ya que el carbono flota en la superficie durante el acabado y el uso de cenizas volantes con alto contenido de carbono requiere una mayor adición de agua y la necesidad de incorporar mayores cantidades de agente de atrapamiento de aire en el hormigón.

60 Además, en algunos casos, las cenizas volantes con alto contenido de carbono pueden mostrar una reducción en la reactividad puzolánica deseable.

Por lo tanto, es necesario procesar las cenizas volantes en bruto para reducir la cantidad de carbono sin quemar al valor mínimo, incluso por debajo de los niveles indicados por las regulaciones o los organismos normativos.

65

Antecedentes de la invención

Con el fin de maximizar la aplicación comercial de cenizas volantes de combustión de carbón como componente en la fabricación de hormigón, se han desarrollado muchos métodos para eliminar las partículas de carbono de las cenizas volantes, reduciendo así los inconvenientes relacionados con la presencia de cantidades indeseables de carbono.

Dichos métodos para eliminar partículas de carbono suelen utilizar medios basados en la flotación por espuma (véase patente US 6.068.131), distribución del tamaño de partícula (patente US5996808) o técnicas electrostáticas (véanse patentes US5938041, JP2004243154A, JP2005279489A). Sin embargo, aunque estos métodos pueden ser apropiados para reducir el contenido de carbono de las cenizas volantes reducidas con el fin de cumplir con las especificaciones para su aplicación en cemento o hormigón, no permiten reducir el contenido de carbono a un valor tan bajo (por ejemplo, menos del 2 %) como para asegurar que los sistemas de hormigón no se vean afectados negativamente por las partículas de carbono restantes. Además, estas técnicas son bastante caras en términos de inversión y producen costes operativos elevados (energía, procesamiento previo y posterior).

Se han descrito varios métodos de combustión para eliminar el carbono de las cenizas volantes (véanse patentes US 5390611, US 2004231566, US 2006180060). Uno de los métodos de combustión más utilizados es la quema de carbono usando lechos fluidizados (véanse patentes US 5.399.194, US 5.160.539, US 2008075647, US 2008173217 o WO 2007097745). Sin embargo, este método presenta los siguientes inconvenientes. Los lechos fluidizados no pueden mantener las condiciones de fluidización sin que se transporten las partículas finas. Por lo tanto, dichos métodos requieren un sistema adicional para capturar las pequeñas partículas en la parte superior del equipo de recolección normal y existen restricciones con respecto a la distribución del tamaño de la partícula de cenizas volantes a reducir con dichos métodos, de modo que el número de partículas pequeñas arrastradas sea limitado.

Además, cuando se usa un lecho de burbujeo, el control de la temperatura del baño de burbujas tiene la consecuencia de fundir parcialmente las partículas de cenizas volantes cuando las temperaturas aumentan demasiado. Un tiempo de residencia muy alto a una temperatura elevada puede dañar las partículas de cenizas volantes vítrea, lo que resulta en una sinterización o aglomeración parcial, lo que disminuye la calidad del producto final reducido o requiere procesos posteriores como la trituración o molienda que aumentan la complejidad y los costes de proceso. La reducción de la temperatura del lecho puede evitar el problema del sobrecalentamiento, pero limita la combustión de las partículas de carbono y da como resultado que las cenizas volantes tengan todavía una LOI elevada. A veces, las temperaturas del lecho se controlan mediante un circuito de recirculación de partículas de cenizas volantes reducidas para evitar que las temperaturas aumenten demasiado. Sin embargo, dicho circuito de recirculación aumenta la complejidad técnica de la instalación. Además, las partículas de cenizas volantes que tienen un bajo valor calorífico son casi imposibles de tratar con esas técnicas.

La mayoría de estos problemas están relacionados con el uso de lechos fluidizados, ya que se puede producir la sinterización de las partículas debido al sobrecalentamiento importante y local incluso a una temperatura general más baja del lecho cuando ocurre la autocombustión.

Además, la patente GB 1.577.234 describe un método y una instalación para tratar las cenizas volantes para la producción de ladrillos. Las partículas de cenizas volantes precalentadas se inyectan en una cámara de combustión en la que una corriente de aire las arrastra hacia arriba. El tiempo medio de residencia de las partículas de cenizas volantes es de aproximadamente 5 segundos. La combustión de las partículas de cenizas volantes es, por tanto, una combustión rápida. El polvo de carbono se inyecta en la cámara de combustión tan pronto como el contenido de carbono de las partículas de ceniza cae por debajo del 3 %.

Sin embargo, el método no permite asegurar la combustión espontánea de todo el carbono presente en las partículas de cenizas volantes. Además, la estrategia de control de la temperatura de la cámara de combustión no permite evitar el sobrecalentamiento total de las cenizas volantes y las partículas de cenizas volantes así obtenidas tienen propiedades modificadas y calidad reducida. De hecho, la temperatura en la cámara de combustión no se controla con precisión. Como ejemplo, el caudal de las cenizas volantes y/o el caudal del carbono no se controlan ni se utilizan para controlar la temperatura de la cámara de combustión. Además, el balance de energía del sistema se controla midiendo la temperatura fuera de la cámara de combustión, en el conducto de descarga, y no garantiza que algunas partes del reactor tengan una temperatura más baja, lo que provoca un aumento del contenido de carbono en las partículas de cenizas volantes reducidas o una mayor temperatura que provoca el sobrecalentamiento de las cenizas volantes. Por otra parte, las partículas gruesas de carbono se depositan en el fondo cónico de la cámara de combustión, en la que comienzan a quemarse, causando el problema de aumentar la temperatura y formar partículas fundidas de cenizas volantes.

Además, la cantidad de aire inyectado a la cámara de combustión es la cantidad estequiométrica. Por lo tanto, cualquier variación en el contenido de carbono puede producir una combustión incompleta, que puede generar monóxido de carbono. El equipo de postcombustión está ubicado a la salida del tubo de combustión para completar la oxidación del carbono a dióxido de carbono. Sin embargo, esta etapa de postcombustión es peligrosa debido a las condiciones explosivas de producir monóxido de carbono.

El documento EP 0.227.196 A2 describe un proceso para la gasificación de carbón para producir gas de síntesis.

El documento US 6.755.901 B1 describe un método y un aparato para la aplicación de batido para eliminar compuestos de amoníaco de las cenizas volantes, lo que convierte a las cenizas volantes en un producto comercializable.

El documento US 2004/0033184 A1 describe un método para eliminar el carbono de las cenizas volantes.

Sumario de la invención

Por consiguiente, el objetivo de la invención es remediar los inconvenientes anteriores proporcionando un método de bajo coste para la reducción de las cenizas volantes que permite obtener partículas de cenizas volantes que tienen menos del 1 % de pérdida de ignición sin modificar su fase mineralógica.

Para lograr estos objetivos, un primer aspecto de la invención se refiere a un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con la reivindicación 1.

Por lo tanto, utilizando este método en el que las partículas de carbono se queman en una suspensión que fluye hacia arriba a una temperatura de al menos 700 °C, se pueden producir partículas de cenizas volantes que están prácticamente libres de carbono sin modificar las fases mineralógicas, y la morfología de las partículas de cenizas volantes. Además, el método es particularmente eficiente porque el valor calorífico del material de alimentación se ajusta para asegurar la combustión espontánea del carbono presente en las partículas de cenizas volantes.

El valor calorífico puede determinarse utilizando técnicas calorimétricas o midiendo la cantidad de carbono presente en las cenizas volantes en bruto. La medición del valor calorífico y/o el contenido de azufre o ambos contenidos se pueden realizar por lotes en base a muestras estadísticas o en línea. El valor calorífico mínimo K está en el intervalo de 600 a 1000 cal/g. De este modo, se completa la combustión y se evita el sobrecalentamiento de las cenizas volantes.

Ventajosamente, la etapa para determinar el valor calorífico comprende medir los contenidos de carbono y azufre de las partículas de cenizas volantes. Por lo tanto, el valor calorífico se determina con precisión. Los contenidos de carbono y azufre también pueden medirse utilizando técnicas de pérdida de ignición o de combustión combinadas con análisis infrarrojo que son equipos comerciales convencionales de control de calidad. Ambos tipos de análisis se pueden usar en línea o en base a muestras representativas.

Ventajosamente, el combustible es carbón.

Preferiblemente, el carbón se muele a un tamaño de partículas promedio en el intervalo de 50 a 200 micrómetros. Por lo tanto, el carbón es transportado por el flujo de aire con las partículas de cenizas volantes a través de la cámara de combustión rápida.

La temperatura media en la cámara de combustión se mide y se controla entre 700 y 800 °C. Por lo tanto, se produce una reacción completa de combustión del carbón en la cámara de combustión sin sobrecalentamiento de las partículas de cenizas volantes.

Ventajosamente, la temperatura de la cámara de combustión se controla regulando el caudal del material de alimentación y/o regulando el valor calorífico mínimo K. Por lo tanto, la temperatura de la cámara de combustión se controla con precisión.

De acuerdo con una realización preferida, la temperatura promedio en la cámara de combustión se controla modificando el caudal de aire en la entrada de la cámara de combustión, en los casos en que las partículas de cenizas volantes tienen un valor calorífico superior a 1300 cal/g. Por lo tanto, la temperatura se controla para evitar la producción de cenizas volantes sinterizadas. El caudal del flujo de aire suministrado a la cámara de combustión se controla de modo que el tiempo de residencia promedio del material de alimentación en la cámara de combustión se encuentre entre aproximadamente 5 a 20 segundos. Por lo tanto, la reacción de combustión es una combustión rápida también llamada "combustión rápida", que es eficiente para quemar el carbono sin sobrecalentamiento de las partículas de cenizas volantes.

Preferiblemente, el caudal del flujo de aire y/o el caudal del material de alimentación se controlan, ya que el aire es al menos un 30 % superior a la cantidad estequiométrica de aire para la oxidación de carbono a dióxido de carbono. Por lo tanto, la combustión es completa y no genera monóxido de carbono, que es un gas altamente tóxico.

La velocidad del flujo de aire a través de la cámara de combustión oscila de 1 metro/segundo a 3 metros/segundo para asegurar que las partículas de cenizas volantes se arrastren hacia arriba a través de la cámara de combustión y que las partículas de cenizas volantes permanezcan durante un corto período de tiempo en la cámara de combustión.

De acuerdo con una realización preferida, el flujo de aire se precalienta a una temperatura en el intervalo de 400 a 600 °C antes de suministrarse a la cámara de combustión para asegurar el autoencendido de las partículas de carbono. Preferiblemente, el flujo de aire se precalienta mediante un intercambio de calor con el flujo de aire que sale de la cámara de combustión, antes de suministrarse a la cámara de combustión. Por lo tanto, el método tiene un menor consumo de energía y, por lo tanto, tiene un menor coste operativo.

Normalmente, las partículas de cenizas volantes tienen una distribución de tamaño de partícula representada por una d50 en el intervalo de 50 a 200 micrómetros. Por lo tanto, la mayoría de las partículas de cenizas volantes son transportadas por el flujo de aire corriente arriba a su debido tiempo a través de la cámara de combustión y la cantidad de material recolectado en el fondo de la cámara de combustión a medida que disminuye la ceniza de fondo.

De acuerdo con un segundo aspecto, la invención se refiere a una instalación de acuerdo con la reivindicación 14. Esta instalación está configurada para implementar el método de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

De acuerdo con una realización preferida, el dispositivo de alimentación de combustible y el dispositivo de alimentación de partículas de cenizas volantes comprenden un dispositivo de pesaje y un alimentador de tornillo.

Ventajosamente, la cámara de combustión rápida tiene un revestimiento refractario interno. Por lo tanto, la cámara de combustión está bien aislada y se reducen las pérdidas de calor.

En una realización preferida, se distribuyen al menos cinco termopares a lo largo de la cámara de combustión rápida. Por lo tanto, las temperaturas se miden dentro de la cámara de combustión para asegurar que la temperatura promedio de la cámara de combustión se determine con precisión. Además, se pueden usar termopares para verificar que ninguna parte de la cámara de combustión alcance una temperatura de sobrecalentamiento.

Preferiblemente, la instalación comprende un sistema de precalentamiento de flujo de aire. De acuerdo con una realización preferida, el sistema de precalentamiento de flujo de aire comprende un intercambiador de calor que transfiere calor desde la salida de flujo de aire procedente de la cámara de combustión al flujo de aire suministrado a la cámara de combustión.

En resumen, la invención proporciona un método y una instalación para la reducción de las cenizas volantes en el que las partículas de cenizas volantes reducidas tienen un contenido de carbono muy bajo y tienen las altas propiedades puzolánicas de las cenizas volantes en bruto iniciales para optimizar el uso de las cenizas volantes reducidas en aplicaciones de cemento u hormigón. Además, la invención proporciona un proceso de reducción de cenizas volantes altamente versátil que puede gestionar cualquier tipo de cenizas volantes con una restricción limitada o nula con respecto al tamaño de partícula, el valor calorífico de las cenizas volantes en bruto o el tipo de cenizas volantes. La invención proporciona un método que tiene costes operativos muy bajos en comparación con los sistemas desvelados actualmente y una instalación en la que no se necesita una recirculación sofisticada del material.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se ilustrará ahora, simplemente a modo de ejemplo, con referencia a los siguientes dibujos:

- La Figura 1 muestra una instalación de reducción de cenizas volantes de acuerdo con una realización específica de la invención; y
- La Figura 2 muestra una estrategia de control de valor K de acuerdo con una realización alternativa de la invención.

Descripción detallada de la invención

Las partículas de cenizas volantes se transportan desde un patio de almacenamiento hasta un silo de cenizas volantes 1, ilustrado en la Figura 1, a través de un transportador, camión o cualquier otro medio. Se permite una humedad en las cenizas volantes hasta contenidos a los que se puedan transportar e introducir a la cámara de combustión 5.

En una realización no ilustrada, la instalación puede comprender un secador de cenizas volantes que permita obtener partículas de cenizas volantes que tengan preferiblemente un contenido de humedad inferior al 5 %, preferiblemente entre el 2 y el 3 %. El secador de cenizas volantes puede ser un secador rápido, un secador de paletas, un secador de cuchillas o cualquier dispositivo que permita mezclar partículas de cenizas volantes con aire caliente. La salida del secador de cenizas volantes está conectada a un ciclón caliente para separar las partículas de cenizas volantes y los gases.

Las cenizas volantes contienen partículas de diferentes tamaños. La distribución de tamaño de partículas (DTP) de las cenizas volantes, que se define por el porcentaje de peso de los intervalos de tamaño, se evalúa mediante

análisis de pantalla o cualquier dispositivo que realice este análisis. Las partículas de cenizas volantes a reducir se seleccionan y se preparan para que tengan una distribución de tamaño de partícula representada por una d50 en el intervalo de 50 a 200 micrómetros, donde d50 corresponde a un tamaño al que el 50 % en peso del material está por encima de este valor.

5 Normalmente, las cenizas volantes tienen un valor calorífico en el intervalo de 160 a 1300 cal/g. Según la invención, un analizador de valor calorífico 14 determina con precisión el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes. Las partículas de cenizas volantes que salen del silo 1 se muestrean regularmente, por ejemplo cada hora, y el analizador mide el valor calorífico. Como ejemplo, el analizador puede ser un calorímetro LECO AC 500 o
10 equivalente. El analizador 14 proporciona una señal de control en relación con el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes a un dispositivo de control.

15 Como alternativa, el análisis del valor calorífico puede realizarse midiendo la diferencia de peso de una muestra de cenizas volantes antes y después de una combustión completa. Además, el análisis del valor calorífico también puede realizarse midiendo los contenidos de carbono y azufre de las muestras con un analizador de combustión de carbono/azufre. Basándose en el análisis mencionado anteriormente, el analizador evaluó el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes con la siguiente fórmula:

$$20 \quad HV = 0,01 * (\% \text{ de C} * 7831,1 + \% \text{ de S} * 2216,88) \text{ kcal/kg}$$

donde HV representa el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes; % de C representa el porcentaje en peso de carbono; y % de S representa el porcentaje en peso de azufre.

25 A continuación, el dispositivo de control compara el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes con un valor calorífico mínimo K. En caso de que las partículas de cenizas volantes tengan un valor K inferior al valor predefinido K, se añade carbón a las partículas de cenizas volantes para asegurar un valor calorífico mínimo del material de alimentación que se introducirá en una cámara de combustión 5.

30 El analizador también se puede utilizar para medir el valor calorífico del material de alimentación que comprende las cenizas volantes y el carbón para mejorar el control de regulación del proceso.

35 El carbón se almacena en un silo de carbón 2. Ventajosamente, el carbón se muele previamente a un tamaño de partícula promedio en el intervalo de 50 a 200 micrómetros. El valor calorífico de la producción de carbón del silo de carbón 2 también se muestrea regularmente y el analizador 14 mide el valor calorífico Hc del carbón.

Como alternativa a añadir carbón al material de alimentación, téngase en cuenta que, como combustible añadido al material de alimentación, también se pueden usar gas natural, cáscara de arroz o bagazo de caña de azúcar.

40 A continuación se describirán dos métodos de control de adición de carbón.

El primer método es una estrategia de alimentación hacia adelante en la que se añade carbón para garantizar un valor calorífico mínimo en la mezcla (valor K). El dispositivo de control calcula la adición de carbón utilizando el valor calorífico conocido del carbón, el valor calorífico de las cenizas volantes calculado previamente, el caudal de las cenizas volantes del dispositivo de alimentación de las cenizas volantes y el valor K utilizando la siguiente ecuación:

$$45 \quad Fc = Ff * (K - Hf)/(Hc - K),$$

50 donde Fc representa el caudal del carbón, Ff representa el caudal de las cenizas volantes, Hc representa el valor calorífico del carbón, Hf representa el valor calorífico de las cenizas volantes y K representa el valor mínimo seleccionado para el valor calorífico de la materia prima.

Naturalmente, cuando el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes es mayor que K, se detiene la adición de carbón.

55 Por lo tanto, el dispositivo de control controla un dispositivo de alimentación de carbón 3 y/o un dispositivo de alimentación de partículas de cenizas volantes 4 para fijar la cantidad de carbón y/o de partículas de cenizas volantes que se introducen a la cámara de combustión rápida 5 de modo que el material de alimentación tenga un valor calorífico mayor o igual al valor calorífico mínimo K.

60 El segundo método es una estrategia de retroalimentación representada en la Figura 2. Los valores caloríficos del carbón y las partículas de cenizas volantes se miden en un calorímetro o analizador equivalente 14; los caudales máxicos se miden con los instrumentos ubicados en el alimentador, como pesómetros o instrumentos equivalentes.

Las señales de estas variables en el sistema de control se utilizan para calcular el valor calorífico de la mezcla entrante a la cámara de combustión (valor K_m) de la siguiente manera:

$$K_m = (F_c * H_c + F_f * H_f) / (F_c + F_f)$$

5 En un circuito de retroalimentación, el dispositivo de control es un controlador proporcional, integral y derivado (PID) donde la variable controlada es el valor de K_m . El punto de ajuste de esta variable corresponde al valor mínimo de K y la variable manipulada es el caudal del carbón. El procedimiento de ajuste del circuito de control para definir cómo debe cambiar la variable manipulada cuando el K_m calculado es diferente del valor K es muy conocido. Cuando K_m es más bajo que K , el caudal de carbón F_c aumenta y cuando K_m es más alta que K , el caudal de carbón F_c disminuye.

15 Para asegurar la combustión espontánea del carbono presente en las cenizas volantes y el carbón, el material de alimentación tiene un valor calorífico mínimo K en el intervalo de 600 a 1000 cal/g. Más preferiblemente, el valor calorífico mínimo K está en el intervalo de 800 a 1000 cal/g. Estos valores se obtuvieron mediante experimentos a escala de laboratorio en los que se quemaron diferentes mezclas de cenizas volantes y carbón. Los resultados mostraron que la combustión se completa cuando la temperatura de la cámara de combustión fue de 700 °C y se quemó una mezcla de carbón y cenizas volantes con un valor calorífico de 600 cal/g. También se observó que cuando se aumenta el valor de K a valores de 1000 cal/g, las temperaturas en la cámara de combustión son de alrededor de 900 °C. Por lo tanto, para no dañar las partículas de cenizas volantes, el valor calorífico mínimo K debe ser igual o inferior a 1000 cal/g. Con esta experimentación se debe definir previamente el valor de K . Esta condición es necesaria para asegurar la combustión espontánea del carbono presente en las cenizas volantes y el carbón.

25 En la realización ilustrada, la instalación comprende un dispositivo de alimentación de carbón 3 y un dispositivo de alimentación de partículas de cenizas volantes 4 que alimenta independientemente una entrada de la cámara de combustión rápida 5. En otra realización, no ilustrada, las partículas de cenizas volantes y el carbón se mezclan previamente en un mezclador antes de introducirse a la cámara de combustión 5. Cada uno de estos sistemas de alimentación 3, 4 tiene un sistema de pesaje para controlar el caudal y proporcionar información al dispositivo de control de la cantidad de material de alimentación que ingresa a la cámara de combustión rápida 5 por hora. Los dispositivos de alimentación 3, 4 pueden ser alimentadores de tornillo o cualquier otro dispositivo que tenga un motor de velocidad variable para controlar los caudales. Por lo tanto, el dispositivo de control puede controlar el caudal ajustando la velocidad de los dispositivos de alimentación 3, 4.

35 La instalación también comprende una cámara de combustión 5. Según la invención, la cámara de combustión es una cámara de combustión rápida 5 que comprende una cámara vertical en la que el aire y el material de alimentación se queman en una suspensión que fluye hacia arriba. Una cámara de combustión rápida proporciona un tratamiento térmico rápido designado como "combustión rápida" con una duración del orden de unos pocos segundos a unas pocas decenas de segundos.

40 La cámara de combustión rápida 5 tiene al menos una entrada para introducir el material alimentado que comprende partículas de cenizas volantes y, en caso de que el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes sea menor que K , carbón en cantidad suficiente como se ha explicado anteriormente. En la entrada, un inyector, no ilustrado, introdujo partículas de cenizas volantes y carbón en la cámara de combustión 5.

45 La cámara de combustión rápida 5 tiene un quemador 13. El quemador 13 funciona con cualquier agente de combustión y aire y se usa durante el inicio de la instalación. El funcionamiento de la cámara de combustión rápida 5 comienza cuando se inyecta el flujo de aire y el quemador 13 comienza a calentar el cuerpo de la cámara de combustión rápida 5. Cuando la temperatura promedio en la cámara de combustión 5 está en el intervalo de 700 a 800 °C, se encienden el dispositivo de alimentación de cenizas volantes 4 y finalmente el dispositivo de alimentación de carbón 3 y el quemador 13 se apaga. La combustión de las cenizas volantes continúa sin añadir energía en el quemador 13.

50 La cámara de combustión rápida 5 comprende termopares distribuidos a lo largo de la cámara y conectados a un dispositivo de control de la temperatura para controlar la temperatura operativa en la cámara entre 700 y 850 °C. Ventajosamente, hay al menos tres termopares distribuidos a lo largo de la cámara de combustión y, más preferiblemente, hay al menos cinco termopares.

55 La temperatura de funcionamiento promedio en la cámara de combustión rápida 5 debe estar comprendida entre 700 y 800 °C. Por lo tanto, el dispositivo de control de temperatura regula las temperaturas operativas promedio ajustando los caudales y/o la velocidad de flujo y la temperatura del flujo de aire corriente arriba y/o el valor calorífico mínimo K para mantener la temperatura promedio en la cámara de combustión en el intervalo anteriormente mencionado. Además, para evitar la aglomeración y la sinterización de las partículas de cenizas volantes en el cuerpo de la cámara de combustión 5, todas las temperaturas medidas por termopares no deben superar los 900 °C. Por lo tanto, en el caso de alcanzar una temperatura superior a 900 °C, el dispositivo de control de temperatura debe detener la adición de carbono, y si esta condición persiste, reducir el caudal de las cenizas volantes.

Según una realización de la invención, el caudal de aire en la entrada de la cámara de combustión se modifica para controlar la temperatura de combustión en los casos en que las partículas de cenizas volantes tienen un poder calorífico superior a 1300 cal/g.

5 De acuerdo con una realización de la invención, también se puede poner un intercambiador de calor en la cámara de combustión rápida 5 para controlar la temperatura de combustión en los casos en que las partículas de cenizas volantes tengan un poder calorífico superior a 1300 cal/g. El fluido refrigerante puede ser aire o cualquier fluido que transporte la energía fuera del reactor para ser recuperado como vapor.

10 La instalación también comprende medios para suministrar un flujo de aire corriente arriba para transportar el material de alimentación en suspensión desde la entrada hasta una salida de la cámara de combustión rápida 5. Los medios para suministrar el flujo de aire comprenden un soplador de tiro forzado 9. Además, la instalación comprende un sistema de precalentamiento de flujo de aire. Por lo tanto, el flujo de aire corriente arriba se calienta de modo que la temperatura del aire se encuentre en el intervalo de 400 a 600 °C para asegurar la ignición automática de las partículas de carbono del material de alimentación.

15 El control del caudal de aire se realiza conectando un dispositivo de medición de flujo de aire y un controlador conectado a una válvula (no mostrada) ubicada en la línea de suministro de aire de proceso antes de ingresar al intercambiador de calor 8.

20 En la realización ilustrada, el sistema de precalentamiento de flujo de aire comprende un precalentador de aire 12 y dos sistemas de recuperación de energía 7, 8. El primer intercambiador de calor 7 está ubicado dentro del ciclón 6, en el que se recogen partículas de cenizas volantes del flujo de aire que sale de la cámara de combustión rápida 5 y el segundo intercambiador de calor 8 está ubicado en la línea de desbordamiento de dicho ciclón 6. El sistema de precalentamiento de flujo de aire también comprende un dispositivo de control de la temperatura de flujo de aire y un termopar ubicado en la entrada de flujo de aire de la cámara de combustión rápida 5 conectado a dicho dispositivo de control de la temperatura de flujo de aire, por así mantener la temperatura de entrada del flujo de aire entre 400 y 600 °C. Cuando la temperatura del flujo de aire que entra en la cámara de combustión es inferior al límite para la autoignición de las partículas de carbono, el precalentador 12 se enciende y su válvula de entrada 15 se abre para aumentar la temperatura del aire entre 400 y 600 °C.

25 La velocidad de flujo de aire se ajusta para tener una velocidad de aire en el intervalo de 1,0 a 3,0 m/s en la cámara de combustión rápida 5 y un tiempo de residencia promedio de las partículas en la cámara de combustión 5 en el intervalo de 5 a 20 segundos. Naturalmente, la velocidad del flujo de aire se determina en relación con las dimensiones de la cámara de combustión rápida, que normalmente están en el intervalo de 10 a 25 m (altura) y de 1 a 3 m (diámetro).

30 Además, para asegurar la combustión total de carbono en la cámara de combustión, el caudal de aire debe ser al menos un 30 % superior a la cantidad estequiométrica de aire necesaria para la oxidación de carbono a dióxido de carbono. En estas condiciones, no se produce monóxido de carbono y no es necesario el equipo de post-combustión en la salida de la cámara de combustión para completar la reacción de oxidación. Por lo tanto, el caudal de flujo de aire y/o los caudales del material de alimentación se ajustan en consecuencia.

35 El caudal de aire para lograr un 30 % en exceso del aire estequiométrico se calcula con los siguientes métodos:

40 a) Cuando se mide el valor calorífico HV del material de alimentación y/o se puede calcular, el análisis de carbono se puede estimar considerando el carbono como el mayor contribuyente al HV en la mezcla y se calcula con la fórmula: % de C = $HV * 100/7831,1$

45 Una vez que se calcula el porcentaje de carbono, se calcula el caudal de aire en Nm³/h mediante la siguiente fórmula AF = $126,12 * mtp * \% \text{ de C}$

50 b) Cuando el carbono y el azufre se miden en la mezcla, se calcula el caudal de aire en Nm³/h mediante la ecuación AF = $1513,47 * mtp * (\% \text{ de C}/12 + \% \text{ de S}/32)$

55 donde AF = caudal de aire Nm³/h y mtp = toneladas de material de alimentación por hora.

Ventajosamente, la cámara de combustión rápida 5 está bien aislada para reducir la pérdida de calor poniendo un revestimiento refractario en la superficie interna de la cámara de combustión 5.

60 El material de alimentación se introduce en la entrada de la cámara de combustión 5, situada cerca del fondo de la cámara. En la cámara de combustión rápida 5, el material de alimentación entra en contacto con el flujo de aire corriente arriba que se inyecta en la parte inferior de la cámara de combustión rápida 5. Las partículas de material de alimentación se transportan a través de la cámara de combustión rápida 5 y entran en contacto con otras partículas donde la combustión está en curso, y esto permite que nuevas partículas entrantes inicien la combustión.

65 En la salida de la cámara de combustión rápida 5, los vapores que contienen los materiales después del paso a través de la cámara se conducen a al menos un ciclón caliente 6 en el que se recogen partículas de cenizas

volantes procedentes del flujo de aire. Las partículas de cenizas volantes se mueven hacia el orificio de flujo inferior y abandonan el ciclón 6. A continuación, las cenizas volantes reducidas se transportan a un refrigerador y, por último, a un silo final. De acuerdo con la invención, las partículas de cenizas volantes reducidas así obtenidas contienen menos del 1 % de carbono.

5 Las partículas muy finas y gases se llevan al desbordamiento, en la salida de desbordamiento del ciclón caliente 6. El intercambiador de calor 8 ubicado en la línea de desbordamiento de dicho ciclón precalienta el flujo de aire del proceso recuperando la energía de los gases de combustión calientes. Además, la temperatura del flujo de aire del proceso aumenta aún más al recuperar el calor del intercambiador de calor 7 ubicado en el cuerpo caliente del ciclón 6. Posteriormente, el flujo de aire caliente que sale del intercambiador de calor 7 se utiliza para alimentar la cámara de combustión rápida.

10 Los gases agotados que salen del intercambiador de calor 8 se filtran en un filtro 10 que puede ser un filtro electrostático o cualquier otro dispositivo que limpie los gases de partículas finas antes de que pasen a través del ventilador de tiro inducido 11.

15 Las cenizas volantes y el carbón del material de alimentación contienen partículas gruesas de diferentes tamaños, que no son transportadas por el flujo de aire en la cámara de combustión rápida 5, y tienden a asentarse en la parte inferior de la cámara de combustión rápida 5. Este material representa aproximadamente el 10 % del material de alimentación por peso y es necesario instalar una línea de salida ubicada en la parte inferior de la cámara de combustión para recoger este material como ceniza de fondo.

Ejemplos

25 Las pruebas se realizaron con dos cenizas volantes, una con un alto valor calorífico de 1324 cal/g y otra con un bajo valor calorífico de 168 cal/g. Las propiedades de las cenizas volantes y el carbón se presentan en la Tabla 1. La experimentación se realizó a nivel de planta piloto en una cámara de combustión de 15 metros de altura y 0,5 metros de diámetro.

30 La Tabla 2 muestra las condiciones operativas para los dos ejemplos.

En el Ejemplo 1, el valor calorífico fue superior a 1000 cal/g, por lo que se establecieron las condiciones operativas para mantener una energía producida en el reactor de 0,32 MM Btu/h y una temperatura promedio del reactor de 750 °C, esto se logró con un alto caudal de aire, 325 NCMH (metros cúbicos normales por hora) y un bajo caudal de ceniza volante de 70 kg/h. El producto de este experimento fue una ceniza volante reducida con el 0,6 % de LOI y el 72,7 % del material fue recuperado como ceniza volante reducida.

35 En el Ejemplo 2, el valor calorífico de las cenizas volantes fue menor para mantener la autocombustión de las cenizas volantes en el reactor. Como el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes era inferior a 600 cal/g, se añadió carbón para formar un material de alimentación con un 10 % de carbón y un 90 % de ceniza volante y un valor calorífico de 690 cal/g. Este material se procesó en el reactor con una temperatura promedio de 708 °C y con una capacidad de 108 kg/h de cenizas volantes. Los resultados mostraron que las cenizas volantes reducidas con el 0,20 % de LOI y el 81,9 % del material de alimentación se recuperaron como cenizas volantes reducidas.

40 Durante la experimentación en ambas pruebas, las temperaturas de los cinco termopares fueron inferiores a 900 °C y no se produjo material sinterizado ni aglomerado. La ceniza de fondo se produjo en ambas pruebas al 8,1 y al 9 % a partir del material de alimentación inicial en los Ejemplos 1 y 2 con LOI del 20,0 y el 2,96 respectivamente.

45 En el laboratorio, durante los experimentos de combustión con varias proporciones de carbón y cenizas volantes, se observó que las mezclas preparadas para tener un valor HV inferior a 600 cal/g producirían una conversión de carbono en CO₂ (combustión de carbono en la mezcla) en el intervalo del 41 % al 60 %, mientras que aumentar el carbón en la mezcla para alcanzar valores superiores a 600 cal/g permitirá un factor de conversión superior al 95 %.

Tabla 1. Propiedades de los materiales en los Ejemplos 1 y 2.

Propiedad del material	Ejemplo 1	Ejemplo 2
Tamaño de partícula de las cenizas volantes, micrómetros	63	54
LOI de las cenizas volantes, %	20,00	2,96
Valor calorífico de las cenizas volantes, kcal/kg	1324	168
Tamaño de partícula del carbón, micrómetros	-	54
Valor calorífico del carbón, kcal/kg	-	4682
Mezcla de alimentación, LOI%	20	7,45
Valor calorífico de la mezcla, kcal/kg	1324	690

55

Tabla 2. Variables de proceso y resultados.

Variables del proceso	Ejemplo 1	Ejemplo 2
Temperatura media en la cámara de combustión, °C	750	708
Velocidad media del aire del flujo de aire corriente arriba, m/s	1,8	1,2
Tiempo promedio de residencia de las partículas de cenizas volantes, s	7,98	12,12
Temperatura de la alimentación de aire en la cámara de combustión, °C	476	450
Aire en exceso, %	157	149
Entrada de caudal de aire total, NCMH	325	222
Aire a la cámara de combustión, NCMH	300	202
Aire a cenizas de fondo transportadas, NCMH	25	20
Caudal de las cenizas volantes, kg/h	70	108
Caudal de carbón, kg/h	0	12
% de carbón en la mezcla	0	10
Caudal de cenizas de fondo, kg/h	5,66	10,92
Caudal producto de cenizas volantes, kg/h	50,92	98,273
LOI de producto, %	0,6	0,2

REIVINDICACIONES

1. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes, el método que comprende:

- 5 – determinar el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes;
- comparar el valor calorífico determinado de las partículas de cenizas volantes con un valor calorífico mínimo K en el intervalo de 600 a 1000 cal/g;
- alimentar una entrada ubicada en la parte inferior de una cámara de combustión rápida vertical (5) con un material de alimentación que comprende las partículas de cenizas volantes y, en caso de que el valor calorífico determinado sea más bajo que el valor calorífico mínimo K, introducir combustible en cantidad suficiente para asegurar que el valor calorífico del material de alimentación es mayor o igual que el valor calorífico mínimo K;
- 10 – suministrar un flujo de aire corriente arriba desde los medios (9) de dicha cámara de combustión rápida vertical (5), a una velocidad que oscila entre 1 metro/segundo y 3 metros/segundo, para transportar el material de alimentación en suspensión desde la entrada ubicada en la parte inferior de dicha cámara de combustión rápida vertical (5) a una salida ubicada en la parte superior de dicha cámara de combustión rápida vertical (5), con un tiempo de residencia del material en la cámara de combustión rápida (5) que oscila de 5 a 20 segundos,
- 15 – operar dicha cámara de combustión rápida vertical (5) a una temperatura de al menos 700 °C pero inferior a 900 °C;
- recoger partículas de cenizas volantes reducidas del flujo de aire en la salida ubicada en la parte superior de dicha cámara de combustión rápida vertical (5).
- 20

2. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa de determinar el valor calorífico comprende medir los contenidos de carbono y azufre de las partículas de cenizas volantes.

25 3. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que el combustible es carbón.

30 4. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el carbón se muele a un tamaño de partículas promedio en el intervalo de 50 a 200 µm.

5. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la temperatura promedio en la cámara de combustión (5) se mide y se controla entre 700 y 800 °C.

35 6. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la temperatura de la cámara de combustión (5) se controla regulando el caudal del material de alimentación y/o regulando el valor calorífico mínimo K.

40 7. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la temperatura promedio en la cámara de combustión se controla modificando el caudal del flujo de aire suministrado a la cámara de combustión en los casos en que las partículas de cenizas volantes tienen un valor calorífico superior a 1300 cal/g.

45 8. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el caudal del flujo de aire suministrado a la cámara de combustión se controla de modo que el tiempo de residencia promedio del material de alimentación en la cámara de combustión sea inferior a 1 minuto.

50 9. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el caudal del flujo de aire suministrado a la cámara de combustión se controla de manera que el tiempo de residencia promedio del material de alimentación en la cámara de combustión se encuentra entre aproximadamente 5 y 15 segundos.

55 10. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el caudal del flujo de aire y/o el caudal del material de alimentación se controlan, ya que el aire supera al menos el 30 % de la cantidad estequiométrica de aire para la oxidación de carbono a dióxido de carbono.

60 11. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el flujo de aire se precalienta a una temperatura en el intervalo de 400 a 600 °C antes de suministrarse a la cámara de combustión.

65 12. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el flujo de aire se precalienta mediante un intercambio de calor con el flujo de aire que sale de la cámara de combustión, antes de suministrarse a la cámara de combustión.

13. Un método para la reducción de partículas de cenizas volantes de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que las partículas de cenizas volantes se seleccionan y se preparan para que tengan una distribución de tamaño de partícula representada por una d_{50} en el intervalo de 50 a 200 micrómetros.
- 5 14. Una instalación configurada para implementar el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, que comprende:
- una cámara de combustión rápida vertical (5) que comprende medios (9) para suministrar un flujo de aire corriente arriba para transportar un material de alimentación en suspensión desde una entrada ubicada en la parte inferior de dicha cámara de combustión rápida vertical (5) hasta una salida ubicada en la parte superior de dicha cámara de combustión rápida vertical (5), lo que permite un tiempo de residencia del material en la cámara de combustión rápida (5) que oscila entre 5 y 20 segundos
 - un dispositivo de alimentación de partículas de cenizas volantes (4);
 - un dispositivo de alimentación de combustible (3);
 - 15 – un analizador de valores térmicos (13) que emite una señal en relación con el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes;
 - un dispositivo de control configurado para:
 - determinar el valor calorífico de las partículas de cenizas volantes;
 - 20 • comparar el valor calorífico determinado de las partículas de cenizas volantes con un valor calorífico mínimo K en el intervalo de 600 a 1000 cal/g;
 - alimentar la entrada ubicada en la parte inferior de la cámara de combustión rápida vertical (5) con un material de alimentación que comprende las partículas de cenizas volantes y, en caso de que el valor calorífico determinado sea más bajo que el valor calorífico mínimo K, introducir combustible en cantidad
 - 25 suficiente para asegurar que el valor calorífico del material de alimentación es mayor o igual que el valor calorífico mínimo K;
 - suministrar el flujo de aire corriente arriba desde los medios (9) de dicha cámara de combustión rápida vertical (5), a una velocidad que oscila entre 1 metro/segundo y 3 metros/segundo, para transportar el material de alimentación en suspensión desde la entrada ubicada en la parte inferior de dicha cámara de combustión rápida vertical (5) a la salida ubicada en la parte superior de dicha cámara de combustión rápida vertical (5), permitiendo un tiempo de residencia del material en la cámara de combustión rápida (5) que oscila entre 5 y 20 segundos,
 - 30 • operar la cámara de combustión rápida vertical (5) a una temperatura de al menos 700 °C, pero inferior a 900 °C.
- 35 15. Una instalación de acuerdo con la reivindicación 14, en la que el dispositivo de alimentación de combustible (3) y el dispositivo de alimentación de partículas de cenizas volantes (4) comprenden un dispositivo de pesaje y un alimentador de tornillo.
- 40 16. Una instalación de acuerdo con la reivindicación 14 o 15, en la que la cámara de combustión rápida (5) tiene un revestimiento refractario.
17. Una instalación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16, en la que se distribuyen al menos cinco termopares a lo largo de la cámara de combustión rápida.
- 45 18. Una instalación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14 a 17, que comprende un sistema de precalentamiento de flujo de aire (6A, 8).
- 50 19. Una instalación de acuerdo con la reivindicación 18, en la que el sistema de precalentamiento de flujo de aire comprende un intercambiador de calor (8) que transfiere calor desde la salida de flujo de aire procedente de la cámara de combustión al flujo de aire suministrado a la cámara de combustión.

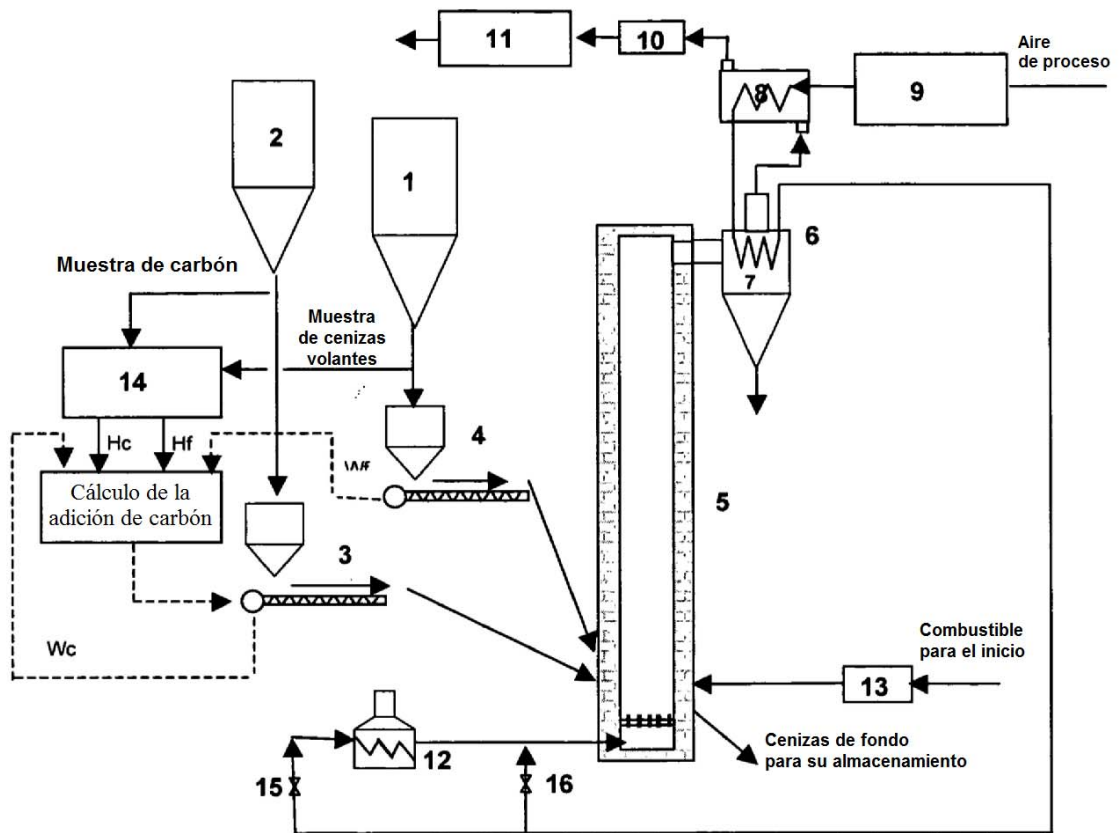


FIGURA 1

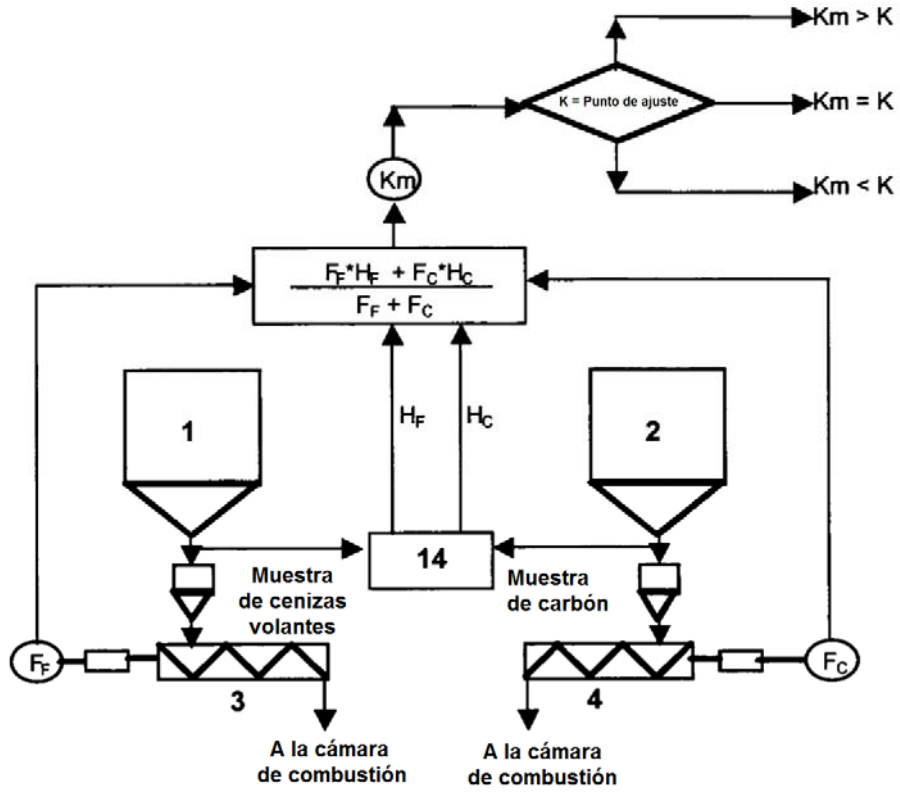


FIGURA 2