

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 918 899**

51 Int. Cl.:

C04B 28/04 (2006.01)

C04B 18/08 (2006.01)

C04B 18/10 (2006.01)

C04B 103/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.10.2015** **PCT/EP2015/074055**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.04.2016** **WO16059231**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.10.2015** **E 15784622 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2022** **EP 3207002**

54 Título: **Método de fabricación de cenizas volantes**

30 Prioridad:

16.10.2014 EP 14290312

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

21.07.2022

73 Titular/es:

IMERTECH SAS (100.0%)
43, quai de Grenelle
75015 Paris, FR

72 Inventor/es:

SEVAGEN, ALEXANDRE;
PERRONNET, MURIELLE y
RAVAGNANI, CHRISTIAN

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 918 899 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 de fabricación de cenizas volantes

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a un método de fabricación de cenizas volantes que comprende quemar combustible en presencia de un aditivo mineral, donde el aditivo mineral comprende al menos un silicato, donde al menos un silicato es un aluminosilicato. La presente invención se refiere además a las cenizas volantes fabricadas por dichos métodos, y al uso de las cenizas volantes fabricadas por dichos métodos como puzolana, por ejemplo, en composiciones cementosas tales como cemento Portland y hormigón.

Antecedentes de la invención

15 Las cenizas volantes son uno de los residuos producidos durante la combustión del combustible (por ejemplo, carbón, biocombustible) y comprenden las partículas finas generalmente esféricas y vítreas que se elevan con los gases de combustión. Esto contrasta con las cenizas que no se elevan con los gases de combustión, por ejemplo, las cenizas con partículas de mayor tamaño, que se conocen como cenizas de fondo. La composición exacta de las cenizas volantes varía según el combustible particular utilizado y el método de combustión, pero generalmente las cenizas volantes comprenden sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxido de calcio (CaO), todos los cuales pueden estar presentes en forma amorfa y/o formas cristalinas. Las cenizas volantes también pueden comprender uno o más de óxido de hierro (por ejemplo, Fe_2O_3), óxido de magnesio (MgO), óxido de potasio (K_2O), óxido de sodio (Na_2O) y trióxido de azufre (SO_3).

25 En general, es deseable capturar las cenizas volantes antes de que se liberen a la atmósfera para reducir la contaminación. Las cenizas volantes capturadas se pueden utilizar para numerosas aplicaciones, por ejemplo, en cemento, hormigón, construcción y relleno de carreteras, minería subterránea y estabilización de residuos. La composición y las propiedades de las cenizas volantes pueden verse afectadas al cambiar el método de fabricación de las cenizas volantes.

30 En el documento US 8,741,054 se proporcionan productos de combustión de combustibles de hidrocarburo y cantidades controladas de materiales que mejoran la resistencia de óxidos metálicos que son útiles como aditivos para materiales cementosos.

35 Es un objeto de la presente invención proporcionar métodos alternativos y/o mejorados para fabricar cenizas volantes, que pueden proporcionar cenizas volantes alternativas y/o mejoradas, que tienen una composición deseable y propiedades deseables. Por ejemplo, es un objeto de la presente invención proporcionar métodos para fabricar cenizas volantes que produzcan cenizas volantes que tengan una mayor actividad puzolánica y/o una menor pérdida por ignición (LOI). Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar una ceniza volante que sea particularmente adecuada para su uso en composiciones cementosas tales como cemento (por ejemplo, cemento mezclado o cemento Portland) y hormigón.

Breve descripción de la invención

45 De acuerdo con la presente invención, se proporciona el uso de cenizas volantes como puzolana, donde las cenizas volantes se obtienen mediante un método de acuerdo con la reivindicación 1, donde el método comprende quemar combustible en presencia de un aditivo mineral, donde el aditivo mineral comprende al menos un silicato en el que al menos un silicato es un aluminosilicato, donde el aditivo mineral comprende menos del 20 % en peso de óxido de calcio y donde el aditivo mineral se combina con el combustible antes de la combustión y/o se añade al horno durante la combustión.

50 De acuerdo con la presente invención, también se proporciona un método para fabricar una composición cementosa que comprende cenizas volantes de acuerdo con la reivindicación 3.

55 El método puede aumentar la actividad puzolánica de las cenizas volantes y, por lo tanto, puede ser un método para aumentar la actividad puzolánica de las cenizas volantes. La ceniza volante puede, por ejemplo, tener una actividad puzolánica que sea al menos alrededor de un 5 % mayor que la actividad puzolánica de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

60 El método puede disminuir la pérdida por ignición (LOI) de las cenizas volantes y, por lo tanto, puede ser un método para disminuir la LOI de las cenizas volantes. Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener una LOI que sea al menos alrededor de un 5 % menor que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

65 El método puede aumentar el índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes y, por lo tanto, puede ser un método para aumentar el índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes. La ceniza volante puede, por ejemplo, tener un índice de actividad de fuerza que sea al menos un 5 % mayor que el índice

de actividad de fuerza de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

Por lo tanto, como se describe en el presente documento, se proporciona el uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato para aumentar la actividad puzolánica de las cenizas volantes y/o para aumentar el índice de actividad de fuerza de las cenizas volantes y/o para disminuir la LOI de las cenizas volantes. Por ejemplo, el aditivo mineral se puede usar para aumentar la actividad puzolánica de las cenizas volantes y/o para aumentar el índice de actividad de resistencia de las cenizas volantes y/o para disminuir la LOI de las cenizas volantes quemando combustible en presencia del aditivo mineral.

Es posible que las cenizas volantes "fabricadas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral" no cumplan con uno o más de los requisitos estándar para uso en hormigón (por ejemplo, uno o más de los requisitos estándar establecidos en ASTM C618 o EN 450-1:2012, como el índice de actividad de fuerza, cantidad de sílice reactiva en la fase amorfa, demanda de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y/o LOI). El uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato como se describe en la presente puede, por ejemplo, mejorar una o más de las propiedades de las cenizas volantes. El uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato como se describe en la presente puede, por ejemplo, mejorar una o más de las propiedades de las cenizas volantes de modo que se cumplan uno o más de los requisitos estándar para uso en hormigón. Por ejemplo, el uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato como se describe en la presente puede aumentar la actividad puzolánica de las cenizas volantes y/o aumentar el índice de actividad de fuerza de las cenizas volantes y/o disminuir la LOI de las cenizas volantes de tal manera que las cenizas volantes cumplan con uno o más de estos requisitos estándar para su uso en hormigón (por ejemplo, los requisitos estándar establecidos en ASTM C618 - 12a o EN 450-1:2012). Por ejemplo, el uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato como se describe en la presente puede mejorar una o más de las propiedades de las cenizas volantes de modo que se cumplan todos los requisitos estándar para uso en hormigón (por ejemplo, todos los requisitos estándar establecidos en ASTM C618 - 12a o EN 450-1:2012).

Las cenizas volantes "fabricadas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral" pueden cumplir uno o más de los requisitos para su uso en hormigón (por ejemplo, los requisitos estándar establecidos en ASTM C618 - 12a o EN 450-1:2012, como como índice de actividad de fuerza, cantidad de sílice reactiva en la fase amorfa, demanda de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y/o LOI). El uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato como se describe en la presente puede, por ejemplo, mejorar los valores de estos uno o más requisitos (es decir, en comparación con las cenizas volantes "fabricadas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral").

También se describe en este documento que se proporciona una ceniza volante. La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza volante con una actividad puzolánica incrementada y/o un índice de actividad de fuerza incrementado y/o una LOI reducido. Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, obtenerse o ser obtenibles mediante el método del primer aspecto de la presente invención.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, la ceniza volante tiene una actividad puzolánica que es al menos alrededor de un 5 %, o al menos alrededor de un 10 %, o al menos alrededor de un 20 % mayor que la actividad puzolánica de cenizas volantes fabricadas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

La actividad puzolánica de las cenizas volantes puede, por ejemplo, determinarse por la cantidad de contenido amorfo (vítreo) en las cenizas volantes y/o la cantidad de sílice disponible/reactiva en la fase amorfa de las cenizas volantes y/o o por la demanda de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de las cenizas volantes.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, la ceniza volante tiene un contenido amorfo (contenido vítreo) que es al menos un 5 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede tener un contenido amorfo que sea al menos alrededor de un 10 % mayor, o al menos alrededor de un 15 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, la ceniza volante tiene un contenido amorfo que es hasta alrededor de un 50 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede tener un contenido amorfo que es hasta un 40 % mayor, o hasta un 35 % mayor, o hasta un 30 % mayor, o hasta un 10 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el valor absoluto del contenido amorfo de las cenizas volantes aumenta en un valor absoluto que oscila entre alrededor del 1 % en peso y alrededor del 95 % en peso, por ejemplo, entre alrededor del 10 % en peso y alrededor del 95 % en peso, alrededor del 75 % en peso, por ejemplo, de alrededor del 10 % en peso hasta alrededor del 50 % en peso en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen un contenido amorfo que oscila entre alrededor del 5 % en peso y alrededor del 95 % en peso, por ejemplo, entre alrededor del 10 % en peso o alrededor del 20 % en peso o alrededor del 40 % en peso o alrededor del 50 % en peso a alrededor del 90 % en peso

o alrededor del 75 % en peso o alrededor del 60 % en peso.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, la ceniza volante comprende al menos alrededor de un 5 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden contener al menos un 6 % más, o al menos un 7 % más, o al menos un 10 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del mismo aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes comprenden hasta alrededor de un 100 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden comprender hasta un 90 %, o hasta un 80 %, o hasta un 70 %, o hasta un 50 %, o hasta un 20 % más de sílice disponible en la fase amorfa que cenizas volantes fabricadas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el valor absoluto de sílice disponible en la fase amorfa de las cenizas volantes aumenta en un valor absoluto que oscila entre alrededor del 1 % en peso y alrededor del 75 % en peso, por ejemplo, entre alrededor del 25 % en peso y el 75 % en peso, alrededor del 65 % en peso, por ejemplo, de alrededor del 25 % en peso hasta alrededor del 55 % en peso en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes comprenden de alrededor del 1 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso de sílice disponible en la fase amorfa. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden comprender de alrededor del 25 % en peso hasta alrededor del 95 % en peso, por ejemplo, de alrededor del 50 % en peso hasta alrededor del 80 % en peso de sílice disponible en la fase amorfa.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen una demanda de Ca(OH)_2 que es al menos alrededor de un 5 % mayor que la demanda de Ca(OH)_2 de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una demanda de Ca(OH)_2 que sea al menos un 10 % mayor, o al menos un 15 % mayor, o al menos un 20 % mayor que la demanda de Ca(OH)_2 de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen una demanda de Ca(OH)_2 que es hasta alrededor de un 800 % mayor que la demanda de Ca(OH)_2 de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una demanda de Ca(OH)_2 que es hasta un 400 % mayor, o hasta un 315 % mayor, o hasta un 300 % mayor, o hasta un 100 % mayor, o hasta alrededor de un 80 % mayor o hasta alrededor de un 60 % mayor que la demanda de Ca(OH)_2 de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el valor absoluto de la demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes aumenta en un valor absoluto que oscila entre alrededor de 1 y alrededor de 1300 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes. Por ejemplo, el valor absoluto de la demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto que oscila alrededor de 650 y alrededor de 1300 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes, por ejemplo, un valor absoluto que oscila entre alrededor de 250 a alrededor de 650 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes, en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen una demanda de Ca(OH)_2 que oscila entre alrededor de 650 y alrededor de 1400 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una demanda de Ca(OH)_2 que oscila entre alrededor de 660 y alrededor de 1000, por ejemplo, entre alrededor de 900 y alrededor de 1400 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen un índice de actividad de resistencia en el hormigón que es al menos alrededor de un 5 % mayor que el índice de actividad de resistencia en el hormigón de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener un índice de actividad de resistencia en cemento y/o hormigón que es al menos un 6 % mayor, o un 7 % mayor, o un 8 % mayor, o un 10 % mayor que el índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes fabricadas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen un índice de actividad de resistencia en el hormigón que es hasta alrededor de un 80 % mayor que el índice de actividad de resistencia de una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener un índice de actividad de fuerza que es hasta un 70 % mayor, por ejemplo, hasta un 50 % mayor, por ejemplo, hasta un 20 % mayor, por ejemplo, hasta un 15 % mayor que la fuerza índice de actividad de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el valor absoluto del índice de actividad de

resistencia en el hormigón de las cenizas volantes aumenta en un valor absoluto que oscila entre alrededor de 1 y alrededor de 80. Por ejemplo, el índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto que oscila entre alrededor de 10 y alrededor de 55, por ejemplo, entre alrededor de 25 y alrededor de 80 en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

5

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen un índice de actividad de resistencia en el hormigón que varía de alrededor de 75 a alrededor de 150, por ejemplo, de alrededor de 75 a alrededor de 130, por ejemplo, de alrededor de 75 a alrededor de 100.

10

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen una pérdida por ignición (LOI) que es al menos alrededor de un 5 % menor que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una LOI que sea al menos un 15 % menor, o al menos un 25 % menor, o al menos un 35 % menor que la LOI de una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

15

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen una pérdida por ignición (LOI) que es hasta alrededor de un 100 % menor que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una LOI de hasta alrededor del 99 %, por ejemplo, hasta alrededor del 90 %, por ejemplo, hasta alrededor del 75 %, por ejemplo, hasta alrededor del 50 %, por ejemplo, hasta alrededor del 40 %, por ejemplo, hasta alrededor de un 30 % menos que la LOI de una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

20

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el valor absoluto de la LOI de las cenizas volantes disminuye en un valor absoluto que oscila entre alrededor del 0,01 % y alrededor del 30 %, por ejemplo, entre alrededor del 5 % y alrededor del 6,99 %, por ejemplo, de alrededor de 23 % a alrededor de 30 % en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia de un aditivo mineral.

25

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen una LOI que oscila entre alrededor del 0,01 % y alrededor del 9 %, por ejemplo, entre alrededor del 0,01 % y alrededor del 7 %, por ejemplo, entre alrededor del 0,01 % y alrededor del 4 %, por ejemplo, de alrededor de 0,01 % a alrededor de 2 %.

30

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen una relación molar de base/ácido inferior a 1. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden ser cenizas de carbón.

35

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes tienen una relación molar de base/ácido superior a 1. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden ser cenizas de gránulos de madera.

De acuerdo con presente invención, el al menos un silicato es un aluminosilicato. El aluminosilicato puede, por ejemplo, seleccionarse del grupo que consiste en caolín (por ejemplo, caolín hidratado o caolín calcinado), haloisita, arcilla bola, arcilla en trozo, arcilla de bauxita, arcilla calcinada, esmectita, bentonita, marga arcillosa, marga, marga calcárea, andalucita, cianita, sillimanita, perlita, mica, clorita, atapulgita o paligorskita y pirofilita.

40

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, la cantidad de silicato seco añadido al combustible húmedo en relación con la cantidad de ceniza en el combustible seco a 550 °C oscila entre alrededor de 0,01 y alrededor de 10.

45

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el aditivo mineral comprende además un mineral que contiene un metal alcalinotérreo. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender además un mineral que contiene magnesio o un mineral que contiene calcio.

50

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el aditivo mineral comprende además uno o más de carbonato de calcio (por ejemplo, GCC o PCC), piedra caliza, mármol, tiza, dolomita, arena aragonítica, conchas marinas, coral, horno de cemento polvo, talco, brucita, carbonato de magnesio, un mineral que contiene carbonato de magnesio y un mineral que contiene carbonato de calcio.

55

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el aditivo mineral comprende además un mineral de silicato de área superficial alta. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender además tierra de diatomeas.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el aditivo mineral comprende de alrededor de 15 % en peso a alrededor de 100 % en peso de silicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 15 % en peso o de alrededor del 20 % en peso o de alrededor del 40 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso de silicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 15 % en peso o de alrededor del 20 % en peso o de alrededor del 40 % en peso hasta alrededor del 85 % en peso de silicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor de un 40 % en peso a alrededor de un 100 % en peso de silicato.

60

65

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el aditivo mineral comprende de alrededor del 15

5 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso de aluminosilicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 15 % en peso o de alrededor del 20 % en peso o de alrededor del 40 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso de aluminosilicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 15 % en peso o de alrededor del 20 % en peso o de alrededor del 40 % en peso hasta alrededor del 85 % en peso de aluminosilicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 40 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso de aluminosilicato.

10 En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el combustible comprende uno o más de carbón, coque de petróleo, lignito, biocombustible (por ejemplo, biocombustible derivado de biomasa como paja de trigo, gránulos de madera, gránulos de paja, turba, lignocelulosa, biomasa de desecho como bagazo, tallos de trigo, tallos de maíz, tallos de avena y/o biomasa energética como pastos del género *Miscanthus*), combustible derivado de desechos (por ejemplo, desechos sólidos municipales, desechos comerciales, desechos industriales, desechos de biomasa y desechos animales).

15 En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el método de fabricación de cenizas volantes se lleva a cabo en una central eléctrica de combustibles fósiles. En ciertas realizaciones, el método de fabricación de cenizas volantes se lleva a cabo en una planta de energía de biomasa. En ciertas realizaciones, el método de fabricación de cenizas volantes se lleva a cabo en una planta de energía de conversión de residuos en energía.

20 En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el método de fabricación de cenizas volantes se lleva a cabo usando una o más de una unidad de combustible pulverizado, una unidad de combustión en parrilla, una unidad de lecho fluidizado (circulante y/o burbujeante) y un gasificador.

25 En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, el aditivo mineral se combina con el combustible antes y/o durante la combustión. En ciertas realizaciones, el aditivo mineral se agrega sobre la zona de cocción.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, la combustión se lleva a cabo a una temperatura de alrededor de 200 °C a alrededor de 2300 °C.

30 En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, la combustión se lleva a cabo durante un período de tiempo que oscila entre alrededor de 0,1 segundos y alrededor de 24 horas.

En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, las cenizas volantes se incorporan a una composición cementosa.

35 En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, la composición cementosa puede ser cemento Portland. En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, la composición cementosa puede ser un cemento mezclado.

40 En ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención, la composición cementosa puede ser hormigón.

Ciertas realizaciones de cualquier aspecto de la presente invención pueden proporcionar una o más de las siguientes ventajas:

- 45 • Cenizas volantes con mayor actividad puzolánica;
- Cenizas volantes con una mayor cantidad de fase amorfa (vítrea);
- Cenizas volantes con una mayor cantidad de sílice disponible en la fase amorfa;
- Cenizas volantes con una mayor demanda de Ca(OH)_2 ;
- Cenizas volantes con una pérdida por ignición (LOI) reducida;
- Cenizas volantes con una cantidad reducida de carbono sin quemar;
- 50 • Cenizas volantes con un mayor índice de actividad de resistencia en el hormigón;
- Cenizas volantes que cumplan con los requisitos estándar de ASTM C618 - 12a y/o EN 450-1:2012;
- Composiciones cementosas (por ejemplo, cemento u hormigón) con resistencia aumentada (por ejemplo, índice de actividad de resistencia aumentado);
- Composiciones cementosas (por ejemplo, cemento u hormigón) con permeabilidad reducida; Composiciones cementosas (por ejemplo, hormigón) con resistencia mejorada al estrés químico y/o térmico.
- 55

60 Los detalles, ejemplos y preferencias proporcionados en relación con uno o más de los aspectos establecidos de la presente invención se aplican por igual a todos los aspectos de la presente invención. La presente invención abarca cualquier combinación de las realizaciones, ejemplos y preferencias descritas en el presente documento en todas sus variaciones posibles, a menos que se indique lo contrario en el presente documento, o que el contexto lo contradiga claramente.

Descripción detallada de la invención

65 Método de fabricación de cenizas volantes

La presente invención proporciona métodos para fabricar cenizas volantes. Los métodos comprenden quemar un combustible en presencia de un aditivo mineral, donde el aditivo mineral comprende al menos un silicato.

El calor producido por la combustión puede, por ejemplo, utilizarse para generar energía eléctrica. El método puede, por ejemplo, llevarse a cabo en una central eléctrica industrial (central eléctrica). Por ejemplo, el método puede llevarse a cabo en una central eléctrica de combustible fósil o una central eléctrica de biomasa o una central eléctrica de conversión de residuos en energía. Por ejemplo, el método puede llevarse a cabo en una central eléctrica de combustible pulverizado, por ejemplo, una central eléctrica de carbón pulverizado. Por ejemplo, el método puede llevarse a cabo usando combustión en lecho fluidizado (por ejemplo, combustión en lecho fluidizado circulante). El método puede, por ejemplo, llevarse a cabo usando uno o más de una unidad de combustible pulverizado, una unidad de combustión de parrilla, una unidad de lecho fluidizado (circulante y/o burbujeante) y un gasificador.

El combustible puede comprender, por ejemplo, uno o más de carbón, coque de petróleo, lignito, biocombustible (por ejemplo, biocombustible derivado de biomasa como paja de trigo, gránulos de madera, gránulos de paja, turba, lignocelulosa, biomasa residual como bagazo, tallos de trigo, tallos de maíz, tallos de avena y/o biomasa energética como pastos del género *Miscanthus*), combustibles derivados de desechos (por ejemplo, desechos sólidos municipales, desechos comerciales, desechos industriales, desechos de biomasa y desechos animales). Los ejemplos de fuentes de carbón incluyen, sin limitarse a los mismos, carbón pardo, lignito y carbón bituminoso, tales como, por ejemplo, carbón bituminoso del este, carbón coquizable, carbón jurásico, carbón triásico, carbón pérmico y carbón carbonífero.

El combustible y el aditivo mineral pueden, por ejemplo, combinarse antes de la combustión. Por ejemplo, el combustible y el aditivo mineral se pueden combinar antes de introducirse en un horno. Por ejemplo, el combustible y el aditivo mineral pueden mezclarse y/o combinarse antes de la combustión, por ejemplo, antes de introducirse en el horno.

El aditivo mineral se puede agregar al horno después de que la combustión del combustible ya haya comenzado, pero antes de que haya terminado (es decir, durante la combustión). Por ejemplo, el combustible y el aditivo mineral pueden combinarse durante la combustión. Por ejemplo, el aditivo mineral se puede añadir sobre la zona de combustión en la cámara de combustión durante la combustión. Por ejemplo, el aditivo mineral se puede añadir a un sistema de reactor de lecho fluidizado (por ejemplo, un sistema de lecho fluidizado circulante). Por ejemplo, el aditivo mineral se puede añadir a una parte inferior y/o un extremo posterior y/o una parte superior de un reactor de lecho fluidizado circulante. Por ejemplo, el aditivo mineral se puede agregar a un lado de lodo de cenizas de un intercambiador de calor de lecho fluidizado integrado. El aditivo mineral puede, por ejemplo, añadirse a la corriente de cenizas de fondo que se alimenta por gravedad al horno.

El aditivo mineral puede, por ejemplo, combinarse con el combustible antes de la combustión o añadirse al horno durante la combustión. Alternativamente, el aditivo mineral puede combinarse con el combustible antes de la combustión y agregarse al horno durante la combustión.

El aditivo mineral puede, por ejemplo, ponerse en contacto con el combustible durante la combustión. Esto puede, por ejemplo, dar como resultado la formación de cenizas volantes con las propiedades ventajosas descritas en este documento.

La combustión puede, por ejemplo, llevarse a cabo a una temperatura que oscila entre alrededor de 200°C y alrededor de 2300°C. Por ejemplo, la combustión puede llevarse a cabo a una temperatura que oscila entre alrededor de 300°C o alrededor de 400°C o alrededor de 500°C o alrededor de 600°C o alrededor de 700°C o alrededor de 800°C o alrededor de 900°C o alrededor de 1000°C a alrededor de 1700°C. Por ejemplo, la combustión puede llevarse a cabo a una temperatura que oscila entre alrededor de 400°C y alrededor de 2200°C o alrededor de 2100°C o alrededor de 2000°C o alrededor de 1900°C o alrededor de 1800°C o alrededor de 1700°C o alrededor de 1600°C o alrededor de 1500°C o alrededor de 1400°C o alrededor de 1300°C o alrededor de 1200°C o alrededor de 1100°C.

La combustión puede, por ejemplo, llevarse a cabo durante un período de tiempo que oscila entre alrededor de 0,1 segundos y alrededor de 24 horas. Por ejemplo, la combustión se puede llevar a cabo durante un período de tiempo que oscila entre alrededor de 10 minutos o alrededor de 30 minutos o alrededor de 45 minutos o alrededor de 1 hora o alrededor de 2 horas o alrededor de 3 horas o alrededor de 4 horas o alrededor de 5 horas o alrededor de 6 horas o alrededor de 7 horas o alrededor de 8 horas o alrededor de 9 horas o alrededor de 10 horas o alrededor de 11 horas o alrededor de 12 horas a alrededor de 24 horas. Por ejemplo, la combustión puede llevarse a cabo durante un período de tiempo que oscila entre alrededor de 0,1 segundos y alrededor de 24 horas o alrededor de 23 horas o alrededor de 22 horas o alrededor de 21 horas o alrededor de 20 horas o alrededor de 19 horas o alrededor de 18 horas o alrededor de 17 horas o alrededor de 16 horas o alrededor de 15 horas.

Las condiciones del método de combustión se pueden seleccionar, por ejemplo, para proporcionar las propiedades ventajosas de las cenizas volantes que se describen a continuación.

Aditivo mineral

El aditivo mineral utilizado en los métodos de la invención comprende al menos un silicato, donde al menos un silicato es

un aluminosilicato. El aditivo mineral puede, por ejemplo, añadirse al horno en forma seca o en suspensión.

El aluminosilicato puede ser, por ejemplo, un aluminosilicato hidratado. El aluminosilicato puede, por ejemplo, seleccionarse del grupo que consiste en caolín (por ejemplo, caolín hidratado o caolín calcinado), haloisita, arcilla bola, arcilla en trozo, arcilla de bauxita, arcilla calcinada, esmectita, bentonita, marga arcillosa, marga, marga calcárea, andalucita, cianita, silimanita, perlita, mica, clorita, atapulgita o paligorskita y pirofilita.

El aditivo mineral puede, por ejemplo, comprender al menos un aluminosilicato y otro silicato, por ejemplo, seleccionado de cuarzo, tridimita, cristobalita, coesita, stishovita, lechatelierita, calcedonia y diatomita (por ejemplo, ópalo). El aditivo mineral puede, por ejemplo, comprender más de un aluminosilicato.

En adelante, la invención tenderá a discutirse en términos de arcilla. Sin embargo, la invención no debe interpretarse como limitada como tal. La siguiente descripción en relación con la arcilla puede aplicarse igualmente a cualquier otro silicato o aluminosilicato.

El aluminosilicato puede ser, por ejemplo, una arcilla hidratada. Por ejemplo, el al menos un aluminosilicato puede ser una arcilla hidratada que tiene un contenido de humedad de al menos alrededor del 5 % en peso, por ejemplo, que oscila entre al menos alrededor del 5 % en peso y al menos alrededor del 15 % en peso.

La arcilla hidratada puede, por ejemplo, incluir arcilla en trozo, por ejemplo, arcilla hidratada que puede secarse parcialmente hasta un contenido de humedad que oscila entre al menos alrededor del 1 % en peso y al menos alrededor del 50 % en peso. Por ejemplo, la arcilla en trozo se puede secar parcialmente hasta un contenido de humedad que va de alrededor del 4 % en peso hasta alrededor del 16 % en peso, por ejemplo, de alrededor del 8 % en peso hasta alrededor del 12 % en peso, por ejemplo, de alrededor del 9 % en peso. peso a alrededor del 11 % en peso (por ejemplo, alrededor del 10 % en peso), o de alrededor del 5 % en peso hasta alrededor del 10 % en peso o de alrededor del 10 % en peso hasta alrededor del 15 % en peso.

La arcilla en trozo puede comprender, por ejemplo, aglomerados de arcilla hidratada que tienen un tamaño de alrededor de 1 pulgada (2,54 cm) o menos. Por ejemplo, la arcilla en trozo puede comprender aglomerados de arcilla hidratada que tienen un tamaño de alrededor de 3/4 de pulgada o menos (1,91 cm o menos), por ejemplo, alrededor de 1/2 pulgada o menos (1,27 cm o menos), por ejemplo, 1/4 pulgada o menos (0,64 cm o menos) (por ejemplo, hasta alrededor de 1/8 de pulgada (0,32 cm) o menos).

Por ejemplo, la arcilla en trozo puede comprender aglomerados de arcilla hidratada que tienen un tamaño de grumos máximo de no más de alrededor de 3 pulgadas (7,62 cm), por ejemplo, no más de 2 pulgadas (5,08 cm), por ejemplo, no más de alrededor de 1 pulgada (2,54 cm).

Por ejemplo, la arcilla en trozo puede comprender aglomerados de arcilla hidratada que tienen un tamaño de grumos máximo que oscila entre alrededor de 0,64 cm (1/4 de pulgada) y alrededor de 5,08 cm (2 pulgadas), por ejemplo, entre alrededor de 0,64 cm (1/4 de pulgada) a alrededor de 1 pulgada (2,54 cm).

La arcilla hidratada utilizada en este documento puede adoptar varias formas y/o puede haber sufrido varios procesos. La arcilla hidratada puede, por ejemplo, incluir uno o más de arcilla en trozos, arcilla triturada y/o molida, arcilla sin beneficiar, caolinita, arcilla bola (por ejemplo, arcilla que incluye alrededor de 20-80 % de caolinita, 10-25 % de mica, y/o 6-65 % de cuarzo), y arcilla derivada de la sobrecarga de una operación minera de caolinita (por ejemplo, arcilla derivada de material ubicado sobre depósitos de caolinita que se están extrayendo). Por ejemplo, la arcilla hidratada puede ser arcilla derivada de arcilla cruda que tenga un contenido de humedad de al menos alrededor del 15 %.

La arcilla hidratada puede tener un área superficial BET de al menos alrededor de 9 m²/g, por ejemplo, al menos alrededor de 10 m²/g o al menos alrededor de 15 m²/g o al menos alrededor de 25 m²/g.

Como se usa en la presente, la arcilla sin beneficiar puede incluir arcilla que no ha sido sometida a al menos un proceso elegido entre dispersión, remoción, floculación selectiva, blanqueo con ozono, clasificación, separación magnética, lixiviación química, flotación con espuma y deshidratación de arcilla.

Al menos una parte de la arcilla hidratada puede ser, por ejemplo, caolinita, por ejemplo, un aluminosilicato hidratado de fórmula $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$.

Por ejemplo, al menos una parte de la arcilla hidratada puede incluir caolín montmorillonítico. Por ejemplo, la arcilla hidratada puede ser una combinación de arcillas hidratadas. Por ejemplo, se puede seleccionar al menos una arcilla hidratada para proporcionar fuerza de unión a la combinación de arcillas hidratadas. Por ejemplo, se puede seleccionar al menos una arcilla hidratada para aumentar la aspereza de la combinación de arcilla hidratada.

La arcilla hidratada puede, por ejemplo, convertirse al menos parcialmente en una arcilla calcinada en el horno. La arcilla al menos parcialmente calcinada puede, por ejemplo, servir para adsorber al menos una parte del álcali presente en el horno.

- El aditivo mineral puede comprender, por ejemplo, de alrededor del 15 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso de silicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 15 % en peso o alrededor del 20 % en peso o alrededor del 25 % en peso o alrededor del 30 % en peso o alrededor del 35 % en peso o alrededor del 40 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso de silicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor de 15 % en peso a alrededor de 95 % en peso o alrededor de 90 % en peso o alrededor de 85 % en peso o alrededor de 80 % en peso o alrededor de 75 % en peso o alrededor de 70 % en peso o alrededor de 65 % en peso o alrededor de 60 % en peso o alrededor de 55 % en peso o alrededor de 50 % en peso de silicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 25 % en peso hasta alrededor del 95 % en peso o alrededor del 90 % en peso o alrededor del 85 % en peso o alrededor del 80 % en peso o alrededor del 75 % en peso o alrededor del 70 % en peso o alrededor del 65 % en peso o alrededor de 60 % en peso o alrededor de 55 % en peso o alrededor de 50 % en peso de silicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 35 % en peso hasta alrededor del 95 % en peso o alrededor del 90 % en peso o alrededor del 85 % en peso o alrededor del 80 % en peso o alrededor del 75 % en peso o alrededor del 70 % en peso o alrededor de 65 % en peso o alrededor de 60 % en peso o alrededor de 55 % en peso o alrededor de 50 % en peso de silicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 40 % en peso hasta alrededor del 95 % en peso o alrededor del 90 % en peso o alrededor del 85 % en peso o alrededor del 80 % en peso o alrededor del 75 % en peso o alrededor del 70 % en peso o alrededor del 65 % en peso o alrededor de 60 % en peso o alrededor de 55 % en peso o alrededor de 50 % en peso de silicato.
- El aditivo mineral puede comprender, por ejemplo, de alrededor del 15 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso de aluminosilicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor de 0,1 % en peso o 1 % en peso o 5 % en peso o 10 % en peso o 15 % en peso o 20 % en peso o 30 % en peso o 40 % en peso hasta alrededor de 100 % en peso de aluminosilicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 5 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso, o alrededor del 95 % en peso o alrededor del 90 % en peso o alrededor del 85 % en peso o alrededor del 80 % en peso o alrededor del 75 % en peso o alrededor del 70 % en peso o alrededor del 65 % en peso o alrededor del 60 % en peso o alrededor del 55 % en peso o alrededor del 50 % en peso de aluminosilicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 15 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso, o alrededor del 95 % en peso o alrededor del 90 % en peso o alrededor del 85 % en peso o alrededor del 80 % en peso o alrededor del 75 % en peso o alrededor del 70 % en peso o alrededor de 65 % en peso o alrededor de 60 % en peso o alrededor de 55 % en peso o alrededor de 50 % en peso de aluminosilicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor de 25 % en peso a alrededor de 100 % en peso, o alrededor de 95 % en peso o alrededor de 90 % en peso o alrededor de 85 % en peso o alrededor de 80 % en peso o alrededor de 75 % en peso o alrededor de 70 % en peso o alrededor de 65 % en peso o alrededor de 60 % en peso o alrededor de 55 % en peso o alrededor de 50 % en peso de aluminosilicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 35 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso, o alrededor del 95 % en peso o alrededor del 90 % en peso o alrededor del 85 % en peso o alrededor del 80 % en peso o alrededor del 75 % en peso o alrededor del 70 % en peso o alrededor de 65 % en peso o alrededor de 60 % en peso o alrededor de 55 % en peso o alrededor de 50 % en peso de aluminosilicato. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 40 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso, o alrededor del 95 % en peso o alrededor del 90 % en peso o alrededor del 85 % en peso o alrededor del 80 % en peso o alrededor del 75 % en peso o alrededor del 70 % en peso o alrededor de 65 % en peso o alrededor de 60 % en peso o alrededor de 55 % en peso o alrededor de 50 % en peso de aluminosilicato.
- El aditivo mineral puede, por ejemplo, comprender uno o más minerales adicionales. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender además un material que contiene un metal alcalinotérreo. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender además un material que contiene magnesio y/o un material que contiene calcio.
- Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender además uno o más de carbonato de calcio (por ejemplo, GCC o PCC), piedra caliza, mármol, tiza, dolomita, arena aragonítica, conchas marinas, coral, polvo de horno de cemento, talco, brucita, magnesio carbonato, un mineral que contiene carbonato de magnesio y un mineral que contiene carbonato de calcio.
- El aditivo mineral puede, por ejemplo, comprender además un mineral de silicato de gran área superficial tal como tierra de diatomeas (diatomita o DE).
- El aditivo mineral puede comprender, por ejemplo, de alrededor de 0 % en peso o 0,1 % en peso hasta alrededor de 99,9 % en peso de minerales que contienen calcio y/o magnesio. Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender de alrededor del 0,1 % en peso o alrededor del 1 % en peso o alrededor del 5 % en peso hasta alrededor del 60 % en peso o el 55 % en peso o el 50 % en peso o alrededor del 45 % en peso o alrededor del 40 % en peso o alrededor del 35 % en peso. % o alrededor de 30 % en peso o alrededor de 25 % en peso o alrededor de 20 % en peso de minerales que contienen calcio y/o magnesio.
- El aditivo mineral puede, por ejemplo, comprender menos de alrededor del 40 % en peso de minerales que contienen calcio (por ejemplo, óxido de calcio). Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender menos del 35 % en peso o menos del 30 % en peso o menos del 25 % en peso o menos del 20 % en peso de minerales que contienen calcio (por ejemplo, óxido de calcio). Por ejemplo, el aditivo mineral puede comprender igual o superior al 0 % en peso de minerales que contienen calcio (por ejemplo, óxido de calcio) o igual o superior al 2 % en peso o igual o superior al 5 % en peso de materiales que contienen calcio (por ejemplo, óxido de calcio).

El aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) pueden, por ejemplo, someterse a al menos un proceso de modificación física antes de la introducción en el horno. Por ejemplo, los procesos de modificación física pueden servir para reducir el tamaño de al menos uno de los aditivos minerales a, por ejemplo, alrededor de 1 pulgada (2,54 cm) o menos. Por ejemplo, un proceso de modificación física ejemplar puede reducir el tamaño del aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) a alrededor de 3/4 de pulgada o menos (1,91 cm o menos), por ejemplo, a alrededor de 1/2 pulgada o menos (1,27 cm o menos), por ejemplo, alrededor de 1/4 pulgada o menos (0,64 cm o menos) (por ejemplo, hasta alrededor de 1/8 pulgada (0,32 cm) o menos). Por ejemplo, el aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) pueden comprender aglomerados de arcilla hidratada que tienen un tamaño máximo de grumos de no más de alrededor de 3 pulgadas (7,62 cm), por ejemplo, no más de 2 pulgadas (5,08 cm), por ejemplo, no más de alrededor de 1 pulgada (2,54 cm).

Los procesos de modificación física ejemplares pueden incluir al menos uno de entre molienda, martilleo, trituración con rodillos, secado, machacado, cribado, extrusión, separación triboeléctrica, clasificación de líquidos y clasificación por aire.

El aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) pueden tener un tamaño de partícula medible. Los tamaños de las partículas y otras propiedades del tamaño de las partículas a las que se hace referencia en la presente, como la distribución del tamaño de las partículas (psd), pueden medirse utilizando un instrumento SEDIGRAPH 5100 suministrado por Micrometrics Corporation. Por ejemplo, el tamaño de una partícula determinada puede expresarse en términos del diámetro de una esfera de diámetro equivalente que sedimenta a través de la suspensión, es decir, un diámetro esférico equivalente o "esd". El tamaño de partícula medible puede indicar la aspereza relativa del aditivo mineral.

Por ejemplo, de alrededor del 30 % en peso a alrededor del 50 % en peso del aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) tiene un tamaño de partícula inferior a alrededor de 1 µm. Por ejemplo, del 35 % al 45 %, por ejemplo, del 30 % al 40 %, por ejemplo, del 40 % al 50 % del aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) tiene un tamaño de partícula inferior a alrededor de 1 µm.

Por ejemplo, de alrededor del 60 % hasta alrededor del 80 % del aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) tiene un tamaño de partícula inferior a alrededor de 2 µm. Por ejemplo, de alrededor de 65 % a alrededor de 75 %, por ejemplo, de alrededor de 60 % a alrededor de 70 %, por ejemplo, de alrededor de 70 % a alrededor de 80 % del aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) tiene un tamaño de partícula inferior a alrededor de 2 µm.

El aditivo mineral y/o el al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) pueden tener un efecto medible de retención de criba de lavado +325 de alrededor de 0,5 % a alrededor de 9 %. Por ejemplo, la retención de criba de lavado de malla +325 puede ser de alrededor de 0,5 % a alrededor de 8 %, por ejemplo, de alrededor de 0,5 % a alrededor de 5 %, por ejemplo, de alrededor de 0,5 % a alrededor de 1,5 %, por ejemplo, de alrededor de 4 % a alrededor de alrededor del 5 %, por ejemplo, de alrededor del 1 % a alrededor del 4,5 %, por ejemplo, de alrededor del 4,5 % a alrededor del 9 %.

La cantidad de aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) introducido en el horno se puede seleccionar basándose, por ejemplo, en una cantidad suficiente para mantener la eficiencia de la caldera. Una medida de la eficiencia de la caldera se relaciona con la temperatura del vapor de la caldera. Por ejemplo, el aditivo mineral se puede agregar en una cantidad suficiente para mantener una temperatura de vapor de caldera que oscila entre alrededor de 930 °C y 1010 °C, por ejemplo, en una cantidad suficiente para mantener una temperatura de vapor de caldera que oscile entre alrededor de 950 °C y alrededor de 1010 °C, por ejemplo, en una cantidad suficiente para mantener una temperatura de vapor de caldera que oscile entre alrededor de 970 °C y alrededor de 1010 °C, por ejemplo, en una cantidad suficiente para mantener una temperatura de vapor de una caldera que oscile alrededor de 1000 °C y alrededor de 1010 °C.

La cantidad de aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) utilizada en los métodos descritos en la presente puede, por ejemplo, calcularse con base en consideraciones estequiométricas y de diagrama de fase. La cantidad de aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) utilizada en los métodos descritos en el presente documento puede, por ejemplo, determinarse de modo que disminuya la proporción molar de base/ácido de la ceniza de combustible.

La relación molar base/ácido de la ceniza de combustible puede, por ejemplo, calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Base molar - relación de ácido} = \frac{(\text{moles Fe}_2\text{O}_3) + (\text{moles CaO}) + (\text{moles MgO}) + (\text{moles Na}_2\text{O}) + (\text{moles K}_2\text{O})}{(\text{moles SiO}_2) + (\text{moles TiO}_2) + (\text{moles P}_2\text{O}_5) + (\text{moles Cl}) + (\text{moles SO}_3)}$$

La cantidad de aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) utilizada en los métodos descritos en la presente puede, por ejemplo, determinarse en función de la actividad puzolánica de la ceniza del combustible utilizado. Por ejemplo, se puede usar una mayor cantidad de aditivo mineral y/o al menos un silicato (por ejemplo, al menos un aluminosilicato) en un método que usa un combustible que tiene una ceniza con una actividad

puzolánica baja en comparación con un método que usa un combustible que tenga una ceniza con una mayor actividad puzolánica.

Por ejemplo, la cantidad de aditivo mineral seco (por ejemplo, al menos un silicato como aluminosilicato) añadido al combustible húmedo en relación con la cantidad de ceniza en el combustible seco a 550 °C (por ejemplo, % de aditivo mineral seco añadido al combustible húmedo / % de ceniza en combustible seco a 550°C) puede oscilar entre alrededor de 0,01 y alrededor de 10. Por ejemplo, la cantidad de aditivo mineral seco (por ejemplo, al menos un silicato como aluminosilicato) agregado al combustible húmedo en relación con la cantidad de ceniza en el combustible seco a 550°C puede oscilar entre alrededor de 0,1 o alrededor de 0,5 o alrededor de 1 o alrededor de 2 o alrededor de 3 o alrededor de 4 o alrededor de 5 o alrededor de 6 a alrededor de 10. Por ejemplo, la cantidad de aditivo mineral seco (por ejemplo, al menos un silicato tal como aluminosilicato) agregado al combustible húmedo en relación con la cantidad de ceniza en el combustible seco a 550 °C puede oscilar entre alrededor de 5 y alrededor de 10 o alrededor de 9 o alrededor de 8 o alrededor de 7 o alrededor de 6.

Por ejemplo, el combustible puede ser coque de petróleo y la cantidad de aditivo mineral seco (por ejemplo, al menos un silicato como el aluminosilicato) añadido al combustible húmedo en relación con la cantidad de ceniza en el combustible seco a 550 °C (por ejemplo, % de mineral seco aditivo añadido al combustible húmedo / % de ceniza en el combustible seco a 550 °C) puede oscilar entre 0,1 y 5. Por ejemplo, entre 0,2, o 0,5, o entre 1,0 y 5, por ejemplo, entre 0,1 y alrededor de 5, o alrededor de 4, o alrededor de 3, o alrededor de 2 o alrededor de 1,5.

Por ejemplo, el combustible puede ser biomasa y la cantidad de aditivo mineral seco (por ejemplo, al menos un silicato como aluminosilicato) añadido al combustible húmedo en relación con la cantidad de ceniza en el combustible seco a 550 °C (por ejemplo, % aditivo mineral seco agregado al combustible húmedo / % de ceniza en el combustible seco a 550°C) puede oscilar entre 0,01 y 8. Por ejemplo, entre 0,05 o 0,1 o 0,2, o entre 0,5 o 1,0 y alrededor de 8, por ejemplo, de alrededor de 0,1 a alrededor de 7, o alrededor de 6, o alrededor de 5, o alrededor de 4 o alrededor de 3.

Por ejemplo, el combustible puede ser carbón y la cantidad de aditivo mineral seco (por ejemplo, al menos un silicato como aluminosilicato) añadido al combustible húmedo en relación con la cantidad de ceniza en el combustible seco a 550 °C (por ejemplo, % aditivo mineral seco agregado al combustible húmedo / % de ceniza en el combustible seco a 550 °C) puede oscilar entre alrededor de 0,01 y alrededor de 1. Por ejemplo, entre alrededor de 0,05 o alrededor de 0,1 o alrededor de 0,2, o alrededor de 0,3 o alrededor de 0,4, o de alrededor de 0,5 a alrededor de 1, por ejemplo, de alrededor de 0,1 a alrededor de 0,9, o alrededor de 0,8, o alrededor de 0,7, o alrededor de 0,6, o alrededor de 0,5 o alrededor de 0,4.

Cenizas volantes

La presente invención proporciona cenizas volantes y métodos para fabricar cenizas volantes. Las cenizas volantes de la invención pueden, por ejemplo, obtenerse o ser obtenibles mediante los métodos de la invención. Las cenizas volantes de la invención y las cenizas volantes fabricadas mediante los métodos de la invención pueden, por ejemplo, estar de acuerdo con cualquier realización descrita en el presente documento, incluyendo todas sus combinaciones.

Las cenizas volantes "fabricadas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral" pueden no cumplir con uno o más de los requisitos estándar para su uso en hormigón (por ejemplo, uno o más de los requisitos estándar establecidos en ASTM C618 o EN 450-1:2012, como el índice de actividad de resistencia, la cantidad de sílice reactiva en la fase amorfa, la demanda de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y/o LOI). El uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato como se describe en la presente puede, por ejemplo, mejorar una o más de las propiedades de las cenizas volantes. El uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato como se describe en la presente puede, por ejemplo, mejorar una o más de las propiedades de las cenizas volantes de modo que se cumplan uno o más de los requisitos estándar para uso en hormigón. Por ejemplo, el uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato como se describe en la presente puede aumentar la actividad puzolánica de las cenizas volantes y/o aumentar el índice de actividad de fuerza de las cenizas volantes y/o disminuir la LOI de las cenizas volantes de modo que las cenizas volantes cumplan con uno o más de estos requisitos estándar para su uso en hormigón (por ejemplo, los requisitos estándar establecidos en ASTM C618 - 12a o EN 450-1:2012). Por ejemplo, el uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato como se describe en la presente puede mejorar una o más de las propiedades de las cenizas volantes de modo que se cumplan todos los requisitos estándar para uso en hormigón (por ejemplo, todos los requisitos estándar establecidos en ASTM C618 - 12a o EN 450-1:2012).

Las cenizas volantes "fabricadas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral" pueden cumplir uno o más de los requisitos para su uso en hormigón (por ejemplo, los requisitos estándar establecidos en ASTM C618 - 12a o EN 450-1:2012, como como índice de actividad de fuerza, cantidad de sílice reactiva en la fase amorfa, demanda de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y/o LOI). El uso de un aditivo mineral que comprende al menos un silicato como se describe en la presente puede, por ejemplo, mejorar los valores de estos uno o más requisitos (es decir, en comparación con las cenizas volantes "fabricadas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral").

La ceniza volante puede, por ejemplo, tener una actividad puzolánica aumentada, por ejemplo, en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede tener una actividad puzolánica que es al menos alrededor de un 5 % mayor que la actividad puzolánica de una ceniza volante

fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una actividad puzolánica que es al menos alrededor del 10 % o al menos alrededor del 15 % o al menos alrededor del 20 % o al menos alrededor del 25 % o al menos alrededor del 30 % o al menos alrededor del 35 % o al menos al menos alrededor del 40 % o al menos alrededor del 45 % o al menos alrededor del 50 % mayor que la actividad puzolánica de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

La ceniza volante puede, por ejemplo, tener una actividad puzolánica que es hasta alrededor de un 800 % mayor que la actividad puzolánica de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una actividad puzolánica de hasta un 700 % o hasta un 600 % o hasta un 500 % o hasta un 400 % o hasta un 300 % o hasta un 200 % o hasta alrededor de un 100 % mayor que la actividad puzolánica de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una actividad puzolánica de hasta un 90 % o hasta un 80 % o hasta un 75 % o hasta un 70 % o hasta un 60 % o hasta un 50 % o hasta alrededor del 40 % o hasta alrededor del 30 % o hasta alrededor del 20 % o hasta alrededor del 10 % mayor que la actividad puzolánica de una ceniza volante que se fabrica por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

La actividad puzolánica de las cenizas volantes puede, por ejemplo, determinarse por el contenido amorfo (vítreo) de las cenizas volantes y/o la cantidad de sílice disponible (reactiva) en la fase amorfa de las cenizas volantes y/o por la demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes.

La ceniza volante puede, por ejemplo, tener un contenido amorfo (contenido vítreo) que es al menos alrededor de un 5 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener un contenido amorfo que es al menos un 10 % mayor, o al menos un 15 % mayor, o al menos un 20 % mayor, o al menos un 25 % mayor, o al menos un 30 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener un contenido amorfo que es hasta alrededor de un 50 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 45 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 40 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 35 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 33 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 30 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 25 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 20 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 15 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 10 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tener un contenido amorfo que es al menos alrededor de un 5 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tener un contenido amorfo que sea al menos alrededor de un 10 % mayor o al menos alrededor de un 15 % mayor o al menos alrededor de un 20 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tener un contenido amorfo que sea hasta alrededor de un 30 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tener un contenido amorfo que es hasta alrededor de un 25 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 20 % mayor, para por ejemplo, hasta alrededor de un 15 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 10 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 8 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, ceniza de gránulos de madera) y tener un contenido amorfo que sea al menos alrededor de un 5 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, cenizas de gránulos de madera) y tener un contenido amorfo que sea al menos un 10 % mayor o al menos un 15 % mayor o al menos un 20 % mayor o al menos alrededor de un 25 % mayor o al menos alrededor de un 30 % mayor o al menos alrededor de un 35 % mayor o al menos alrededor de un 40 % mayor que el contenido amorfo de una ceniza volante obtenida por el mismo método en ausencia del mineral aditivo.

La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, cenizas de gránulos de madera) y tener un contenido amorfo que sea hasta alrededor de un 50 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 45 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 40 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 35 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 33 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 30 % mayor, por ejemplo, hasta alrededor de un 25 % mayor que el contenido amorfo de un cenizas volantes fabricadas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

- El valor absoluto del contenido amorfo de la ceniza volante puede, por ejemplo, aumentar en al menos un valor absoluto de alrededor de 1 % en peso en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral (por ejemplo, si el valor absoluto del contenido amorfo de las cenizas volantes fabricadas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral fuera del 10 % en peso, las cenizas volantes fabricadas quemando combustible en presencia del aditivo mineral tendrían un contenido amorfo de al menos alrededor del 11 % en peso). Por ejemplo, el valor absoluto del contenido amorfo de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto de al menos un 5 %, por ejemplo, al menos un 10 % en peso, por ejemplo, al menos un 15 % en peso, por ejemplo, al menos 20 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor de 25 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor de 30 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor de 35 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor de 40 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor de 50 % en peso en comparación a una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- El valor absoluto del contenido amorfo de las cenizas volantes puede, por ejemplo, aumentar en un valor absoluto hasta alrededor del 95 % en peso en comparación con una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral (por ejemplo, el valor del contenido amorfo de las cenizas volantes fabricadas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral fue del 10 % en peso, las cenizas volantes fabricadas quemando combustible en presencia del aditivo mineral tendrían un contenido amorfo de hasta alrededor de 105 % en peso). Por ejemplo, el valor absoluto del contenido amorfo de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto de hasta alrededor del 90 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 85 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 70 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 70 % en peso, alrededor del 65 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 60 % en peso en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, el valor absoluto del contenido amorfo de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto de hasta alrededor del 50 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 45 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 40 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 35 % en peso en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- La fase amorfa puede constituir de alrededor del 5 % en peso hasta alrededor del 95 % en peso de las cenizas volantes. Por ejemplo, la fase amorfa puede constituir de alrededor del 10 % en peso o alrededor del 15 % en peso o alrededor del 20 % en peso o alrededor del 25 % en peso o alrededor del 30 % en peso o alrededor del 35 % en peso o alrededor del 40 % en peso o alrededor del 45 % en peso o alrededor de 50 % en peso a alrededor de 95 % en peso de las cenizas volantes. Por ejemplo, la fase amorfa puede constituir de alrededor del 5 % en peso hasta alrededor del 90 % en peso o alrededor del 85 % en peso o alrededor del 80 % en peso o alrededor del 75 % en peso o alrededor del 70 % en peso o alrededor del 65 % en peso o alrededor del 60 % en peso o alrededor de 55 % en peso o alrededor de 50 % en peso o alrededor de 45 % en peso o alrededor de 40 % en peso o alrededor de 35 % en peso o alrededor de 30 % en peso o alrededor de 25 % en peso o alrededor de 20 % en peso de las cenizas volantes.
- La cantidad de fase amorfa en las cenizas volantes se puede determinar, por ejemplo, mediante difracción cuantitativa de rayos X obtenida mediante la adquisición de un difractograma de rayos X en $< 40 \mu\text{m}$ de polvo de cenizas volantes no orientadas con 30 % de zincita como patrón interno y mediante modelado del difractograma con el software Topas (Bruker).
- La ceniza volante puede, por ejemplo, comprender al menos alrededor de un 5 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden comprender al menos alrededor de un 6 % más, o al menos alrededor de un 7 %, o al menos alrededor de un 8 % más o al menos alrededor de un 9 % más o al menos alrededor de un 10 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden comprender al menos alrededor de un 15 % más o al menos alrededor de un 20 % más o al menos alrededor de un 25 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, comprender hasta alrededor de un 100 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden comprender hasta un 90 % más, por ejemplo, hasta un 80 % más, por ejemplo, hasta un 70 % más, por ejemplo, hasta un 60 % más, por ejemplo, hasta un 50 % más, por ejemplo, hasta un 40 % más, por ejemplo, hasta un 30 % más, por ejemplo, hasta un 20 % más, por ejemplo, hasta un 15 % más, por ejemplo, hasta un 10 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y contenga al menos alrededor de un 5 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y comprende al menos alrededor del 6 % o al menos alrededor del 7 % o al menos alrededor del 8 % o al menos alrededor del 9 % o al menos alrededor de un 10 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y comprende hasta alrededor del 70 % en peso, o hasta alrededor del 60 % en peso o hasta alrededor de 50 % en peso o hasta alrededor de 40 % en peso o hasta alrededor de 30 % en peso o hasta alrededor de

20 % en peso o hasta alrededor de 15 % en peso o hasta alrededor de 10 % en peso más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

5 La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido de más de 1 (por ejemplo, ceniza de gránulos de madera) y contenga al menos alrededor de un 5 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método. en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, ceniza de gránulos de madera) y comprenda al menos un 10 % más, por ejemplo, al menos un 20 % más, por ejemplo, al menos un 30 % más, por ejemplo, al menos alrededor de un 40 % más, por ejemplo, al menos alrededor de un 50 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

10 La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido de más de 1 (por ejemplo, ceniza de gránulos de madera) y comprender hasta alrededor de un 100 % más, por ejemplo, hasta alrededor de un 90 % más, por ejemplo, hasta alrededor de un 90 % más, por ejemplo, hasta un 80 % más, por ejemplo, hasta un 70 % más, por ejemplo, hasta un 60 % más, por ejemplo, hasta un 50 % más, por ejemplo, hasta un 40 % más, por ejemplo, hasta un 30 % más, por ejemplo, hasta alrededor de un 20 % más de sílice disponible en la fase amorfa que una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

15 El valor absoluto de la sílice disponible en la fase amorfa de las cenizas volantes puede, por ejemplo, aumentar en un valor absoluto de al menos un 1 % en peso en comparación con una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral (por ejemplo, si el valor absoluto de la sílice disponible en la fase amorfa de las cenizas volantes fabricadas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral fuera del 10 % en peso, las cenizas volantes fabricadas quemando combustible en presencia del aditivo mineral comprenderían al menos alrededor del 11 % en peso de sílice disponible en la fase amorfa). Por ejemplo, la cantidad de sílice disponible en la fase amorfa de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto de al menos un 5 % en peso, por ejemplo, al menos un 10 % en peso, por ejemplo, al menos un 20 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor del 25 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor del 30 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor del 35 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor del 40 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor del 45 % en peso, por ejemplo, al menos alrededor del 50 % en peso %, por ejemplo, al menos alrededor del 55 % en peso en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

20 El valor absoluto de sílice disponible en la fase amorfa de las cenizas volantes puede, por ejemplo, aumentar en un valor absoluto de hasta alrededor de un 75 % en peso en comparación con una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral (por ejemplo, si el valor absoluto de la sílice disponible en la fase amorfa de las cenizas volantes fabricadas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral fuera del 10 % en peso, las cenizas volantes fabricadas quemando combustible en presencia del aditivo mineral comprenderían hasta alrededor de un 85 % en peso de sílice disponible en la fase amorfa). Por ejemplo, la cantidad de sílice disponible en la fase amorfa de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto de hasta alrededor del 70 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 65 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 60 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 55 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 50 % en peso, por ejemplo, hasta alrededor del 45 % en peso en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

25 Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, comprender de alrededor del 1 % en peso hasta alrededor del 100 % en peso de sílice disponible en la fase amorfa. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden comprender de alrededor del 5 % en peso o alrededor del 10 % en peso o alrededor del 15 % en peso o alrededor del 20 % en peso o alrededor del 25 % en peso o alrededor del 30 % en peso o alrededor del 35 % en peso o alrededor del 40 % en peso o alrededor de 45 % en peso o alrededor de 50 % en peso de sílice disponible en la fase amorfa. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden comprender hasta alrededor del 90 % en peso o alrededor del 80 % en peso o alrededor del 75 % en peso o alrededor del 70 % en peso o alrededor del 60 % en peso o alrededor del 50 % en peso o alrededor del 40 % en peso o alrededor del 30 % en peso o alrededor de 25 % en peso o alrededor de 20 % en peso de sílice disponible en la fase amorfa. Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, comprender de alrededor del 25 % en peso hasta alrededor del 95 % en peso de sílice disponible en la fase amorfa, por ejemplo, de alrededor del 30 % en peso o de alrededor del 35 % en peso hasta alrededor del 95 % en peso o alrededor del 90 % en peso o alrededor del 80 % en peso Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, comprender de alrededor del 50 % en peso hasta alrededor del 80 % en peso, por ejemplo, de alrededor del 55 % en peso hasta alrededor del 75 % en peso, por ejemplo, de alrededor del 60 % en peso hasta alrededor del 70 % en peso de sílice disponible en la fase forma amorfa de la ceniza volante.

30 La cantidad de sílice disponible en la fase amorfa de las cenizas volantes se puede determinar, por ejemplo, mediante el cálculo del análisis químico completo de las cenizas volantes obtenido por ICP-MS (NF EN 14582 y NF EN ISO 11885) y de la Difracción cuantitativa de rayos X obtenida mediante la adquisición de un difractograma de rayos X en < 40 µm de polvo de cenizas volantes no orientadas con 30 % de zínica como patrón interno y modelando el difractograma con el software Topas (Bruker). La composición química de la fase amorfa se puede calcular, y la estimación de la relación molar de base/ácido en la fase amorfa y el % en peso de SiO₂ permite calcular el % en peso de SiO₂ disponible (reactivo) (que no está vinculado a la base). Por ejemplo, la cantidad de sílice disponible en la fase amorfa de las cenizas volantes puede determinarse mediante los métodos descritos en EN 197-1.

5

10

25

35

45

55

El valor absoluto de la demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes puede, por ejemplo, aumentar en un valor absoluto de al menos alrededor de 1 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes en comparación con las cenizas volantes producidas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral (por ejemplo, si el valor absoluto de la demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes obtenidas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral era 100, las cenizas volantes generadas por la combustión del combustible en la presencia del aditivo mineral tendría una demanda de Ca(OH)_2 de al menos alrededor de 101 mg de Ca(OH)_2 por gramo de ceniza volante). Por ejemplo, la demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto de al menos alrededor de 50, por ejemplo, al menos alrededor de 100, por ejemplo, al menos alrededor de 125, por ejemplo, al menos alrededor de 150, por ejemplo, en al menos alrededor de 200, por ejemplo, al menos alrededor de 250 mg de Ca(OH)_2 por gramo de ceniza volante en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, el valor absoluto de la demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes puede aumentar al menos alrededor de 300, por ejemplo, al menos alrededor de 350, por ejemplo, al menos alrededor de 400, por ejemplo, al menos alrededor de 450, por ejemplo, en al menos alrededor de 500, por ejemplo, al menos alrededor de 550, por ejemplo, al menos alrededor de 600, por ejemplo, al menos alrededor de 650, por ejemplo, al menos alrededor de 700, por ejemplo, al menos alrededor de 750 mg de Ca(OH)_2 por gramo de ceniza volante en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

El valor absoluto de la demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes puede, por ejemplo, aumentar en un valor absoluto de hasta alrededor de 1300 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral (por ejemplo, si el valor absoluto de la demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes obtenidas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral era 100, las cenizas volantes generadas por la combustión del combustible en la presencia del aditivo mineral tendría una demanda de Ca(OH)_2 de hasta alrededor de 1400 mg de Ca(OH)_2 por gramo de ceniza volante). Por ejemplo, la demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto de hasta alrededor de 1200, por ejemplo, hasta alrededor de 1100, por ejemplo, hasta alrededor de 1000, por ejemplo, hasta alrededor de 900, por ejemplo, hasta alrededor de 800, por ejemplo, hasta alrededor de 700, por ejemplo, hasta alrededor de 600, por ejemplo, hasta alrededor de 550, por ejemplo, hasta alrededor de 500 mg Ca(OH)_2 por gramo de ceniza volante en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener una demanda de Ca(OH)_2 que va de alrededor de 350 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes hasta alrededor de 1500 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes. Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener una demanda de Ca(OH)_2 que oscila entre alrededor de 660 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes y alrededor de 1400 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una demanda de Ca(OH)_2 que va de alrededor de 700, por ejemplo, de alrededor de 800, por ejemplo, de alrededor de 900 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes hasta alrededor de 1400, por ejemplo, hasta alrededor de 1350, por ejemplo, a alrededor de 1300 mg Ca(OH)_2 por gramo de ceniza volante. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una demanda de Ca(OH)_2 que oscila entre alrededor de 910 y alrededor de 1310 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una demanda de Ca(OH)_2 que oscila entre alrededor de 950, por ejemplo, alrededor de 1000, por ejemplo, alrededor de 1100 mg de Ca(OH)_2 por gramo de cenizas volantes, hasta alrededor de 1300, por ejemplo, alrededor de 1250, por ejemplo, a alrededor de 1200, por ejemplo, a alrededor de 1100 mg de Ca(OH)_2 por gramo de ceniza volante.

La demanda de Ca(OH)_2 de las cenizas volantes se puede medir, por ejemplo, mediante la prueba de Chapelle modificada. Los detalles de la prueba de Chapelle modificada se pueden consultar en Largent, R. Bull. Liasons Lab. Pont Chausées, vol. 93, 1978, pp 63 y se describen en el documento NF P18-513.

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que sea al menos alrededor de un 5 % mayor que el índice de actividad de resistencia en el hormigón de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que es al menos un 6 % mayor, un 7 % mayor, un 8 % mayor, un 9 % mayor, un 10 % mayor o un 15 % mayor que el índice de actividad de resistencia en el hormigón de cenizas volantes fabricadas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que es hasta alrededor de un 80 % mayor que el índice de actividad de resistencia en el hormigón de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que es hasta un 70 % mayor, o hasta un 60 % mayor, o hasta un 50 % mayor, o hasta un 40 % mayor, o hasta alrededor de un 30 % mayor, o hasta alrededor de un 20 % mayor, o hasta alrededor de un 15 % mayor que el índice de actividad de resistencia en hormigón de cenizas volantes fabricadas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido inferior a 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que sea al menos un 5 % mayor que el índice de actividad de resistencia en hormigón de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido de menos

de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que sea al menos un 6 % mayor, o un 7 % mayor, u 8 % mayor, o 9 % mayor o 10 % mayor que el índice de actividad de resistencia en hormigón de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

5 La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que es hasta alrededor de un 70 % mayor que el índice de actividad de resistencia en el hormigón de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón
10 que es hasta alrededor de un 60 % mayor, o alrededor de un 50 % mayor, o alrededor de un 40 % mayor, alrededor de un 30 % mayor, alrededor de un 20 % mayor, alrededor de un 15 % mayor, alrededor de un 10 % mayor o alrededor de un 9 % mayor que el índice de actividad de resistencia en el hormigón de una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

15 La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, cenizas de gránulos de madera) y tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que sea al menos un 5 % mayor que el índice de actividad de resistencia en el hormigón de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, cenizas de gránulos de madera) y tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que sea al menos alrededor de un 6 % mayor, o un 7 % mayor, u 8 % mayor, o 9 % mayor, o 10 % mayor
20 que el índice de actividad de resistencia en hormigón de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, ceniza de gránulos de madera) y tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que es hasta alrededor de un 80 % mayor que el índice de actividad de resistencia en el hormigón de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que es hasta alrededor de un 60 % mayor, o alrededor de un 50 % mayor, o alrededor de un 40 % mayor, alrededor de un 30 % mayor, alrededor de un 20 % mayor, alrededor de un 15 % mayor, alrededor de un 10 % mayor o alrededor de un 9 % mayor que el índice de actividad de resistencia en el hormigón de una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
25
30

El valor absoluto del índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes puede, por ejemplo, aumentar en un valor absoluto de al menos alrededor de 1 en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral (por ejemplo, si el índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes fabricadas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral fue de 10, las cenizas volantes fabricadas quemando combustible en presencia del aditivo mineral tendrían un índice de actividad de resistencia de al menos alrededor de 11). Por ejemplo, el valor absoluto del índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto de al menos 2, por ejemplo, al menos 5, por ejemplo, al menos 10 en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, el índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto de al menos alrededor de 15, por ejemplo, al menos alrededor de 20, por ejemplo, al menos alrededor de 25, por ejemplo, al menos alrededor de 30, por ejemplo, al menos alrededor de 35, por ejemplo, al menos alrededor de 40 en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
35
40
45

El valor absoluto del índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes puede, por ejemplo, aumentar en un valor absoluto de hasta alrededor de 80 en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral (por ejemplo, si el índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes fabricadas con el mismo método en ausencia del aditivo mineral era de 10, las cenizas volantes fabricadas quemando combustible en presencia del aditivo mineral tendrían un índice de actividad de resistencia de hasta alrededor de 90). Por ejemplo, el índice de actividad de resistencia en el hormigón de las cenizas volantes puede aumentar en un valor absoluto de hasta alrededor de 75, por ejemplo, hasta alrededor de 70, por ejemplo, hasta alrededor de 65, por ejemplo, hasta alrededor de 60, por ejemplo, hasta alrededor de 55, por ejemplo, hasta alrededor de 50, por ejemplo, hasta alrededor de 45 en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
50
55

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que oscila entre 75 y 150. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que oscila entre 80 y 140, por ejemplo, que oscila entre 85 y 130. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener un índice de actividad de resistencia en el hormigón que oscila entre 85 y 135, por ejemplo, entre 90 y 130, por ejemplo, entre 95 y 125, por ejemplo, de alrededor de 100 a alrededor de 120.
60

El índice de actividad de fuerza puede, por ejemplo, medirse mediante el método descrito en ASTM C311 o EN 450-1:2012 (por ejemplo, mediante el método descrito en ASTM C109, C109M, C150, C618 o EN 196-1:2005). El índice de actividad de fuerza puede ser, por ejemplo, el índice de actividad de fuerza a los 28 días.
65

- Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener una pérdida por ignición (LOI) que sea al menos alrededor de un 5 % menor que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una LOI que sea al menos un 10 % menos, o al menos un 15 % menos, o al menos un 20 % menos, o al menos un 25 % menos, o al menos un 30 % menos, o al menos alrededor de un 35 % menos, o al menos alrededor de un 40 % menos que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener una pérdida por ignición (LOI) que es hasta alrededor de un 100 % menor que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una LOI de hasta un 99 % menos, o hasta un 95 % menos, o hasta un 90 % menos, o hasta un 85 % menos, o hasta un 80 % menos, o hasta un 70 % menos, o hasta un 72 % menos, o hasta un 70 % menos, o hasta un 60 % menos, o hasta un 50 % menos, o hasta un 40 % menos, o hasta alrededor de un 30 % menos, o hasta alrededor de un 28 % menos, o hasta alrededor de un 25 % menos que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tener una LOI que sea al menos un 15 % menos, por ejemplo, al menos un 16 % menos o al menos al menos alrededor de un 17 % menos o al menos alrededor de un 18 % menos o al menos alrededor de un 19 % menos o al menos alrededor de un 20 % menos que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tiene una relación molar de base/ácido de menos de 1 (por ejemplo, ceniza de carbón) y tiene una LOI que es hasta alrededor de un 90 % menor, por ejemplo, hasta alrededor de un 80 % menos, por ejemplo, hasta un 70 % menos, por ejemplo, hasta un 60 % menos, por ejemplo, hasta un 50 % menos, por ejemplo, hasta un 40 % menos, por ejemplo, hasta un 35 % menos, por ejemplo, hasta alrededor de un 30 % menos o hasta alrededor de un 28 % menos o hasta alrededor de un 25 % menos que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, ceniza de gránulos de madera) y tener una LOI que sea al menos alrededor de un 30 % menor que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, cenizas de gránulos de madera) y tener una LOI que sea al menos alrededor de un 35 % menor o al menos alrededor de un 40 % menor o al menos alrededor de un 45 % menos o al menos un 50 % menos que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- La ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza que tenga una relación molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, cenizas de gránulos de madera) y tener una LOI que sea hasta alrededor de un 100 % menor, por ejemplo, hasta alrededor de un 99 % menor, por ejemplo, hasta un 90 % menos, por ejemplo, hasta un 80 % menos, por ejemplo, hasta un 75 % menos, por ejemplo, hasta un 72 % menos, por ejemplo, hasta un 70 % menos que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia de un aditivo mineral. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser una ceniza que tenga una proporción molar de base/ácido superior a 1 (por ejemplo, ceniza de gránulos de madera) y tener una LOI que sea hasta alrededor de un 60 % menor, por ejemplo, hasta alrededor de un 50 % menor, por ejemplo, hasta alrededor de un 45 % menos, por ejemplo, hasta alrededor de un 40 % menos que la LOI de una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- El valor absoluto de la LOI de las cenizas volantes puede, por ejemplo, disminuir en un valor absoluto de al menos un 1 % en comparación con una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral (por ejemplo, si el valor absoluto de la LOI de las cenizas volantes fabricadas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral fue del 10 %, las cenizas volantes fabricadas quemando combustible en presencia del aditivo mineral tendrían una LOI de al menos alrededor del 9 %. Por ejemplo, la LOI de las cenizas volantes puede disminuir en un valor absoluto de al menos un 2 %, por ejemplo, al menos un 5 % en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la LOI de las cenizas volantes puede disminuir en un valor absoluto de al menos alrededor del 5,5 %, por ejemplo, al menos alrededor del 6 %, por ejemplo, al menos alrededor del 6,5 % en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la LOI de las cenizas volantes puede disminuir en un valor absoluto de al menos un 10 %, por ejemplo, al menos un 15 %, por ejemplo, al menos un 20 %, por ejemplo, al menos un 23 %, por ejemplo, al menos alrededor del 24 %, por ejemplo, al menos alrededor del 25 % en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.
- El valor absoluto de la LOI de las cenizas volantes puede, por ejemplo, disminuir en un valor absoluto de hasta un 30 % en comparación con una ceniza volante fabricada con el mismo método en ausencia del aditivo mineral (por ejemplo, si el valor absoluto de la LOI de las cenizas volantes fabricadas por el mismo método en ausencia del aditivo mineral fue del 40 %, las cenizas volantes fabricadas quemando combustible en presencia del aditivo mineral tendrían una LOI de hasta alrededor del 10 %. Por ejemplo, la LOI de las cenizas volantes puede disminuir en un valor absoluto de hasta alrededor del 29,99 %, por ejemplo, hasta alrededor del 29 %, por ejemplo, hasta alrededor del 28 %, por ejemplo, hasta alrededor

del 27 %, por ejemplo, hasta alrededor de alrededor del 25 %, por ejemplo, hasta alrededor del 20 %, por ejemplo, hasta alrededor del 15 %, por ejemplo, hasta alrededor del 10 % en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, la LOI de las cenizas volantes puede disminuir en un valor absoluto de hasta un 7 %, por ejemplo, hasta un 6,99 %, por ejemplo, hasta un 6,5 %, por ejemplo, hasta un 6,0 % en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener una LOI que oscila entre alrededor de 0,01 % y alrededor de 9 %. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una LOI que oscila entre alrededor del 0,01 % y alrededor del 8 % o alrededor del 7 % o alrededor del 6 % o alrededor del 5 % o alrededor del 4 %. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una LOI que oscila entre 0,1 % y 3,5 %, por ejemplo, entre 0,5 % y 3,0 %, por ejemplo, entre 0,5 % y 2,5 %, por ejemplo, entre 0,5 % y alrededor del 2,0 %. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una LOI que oscila entre 0,01 % y 2,0 %, por ejemplo, entre 0,1 % y 1,5 %, por ejemplo, entre 0,5 % y 1,0 %.

La LOI puede medirse, por ejemplo, mediante el método descrito en EN 450-1:2012 o EN 196-2 o ASTM C314.

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, comprender una cantidad reducida de carbono sin quemar, por ejemplo, en comparación con una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden comprender al menos alrededor de un 5 % menos de carbono sin quemar que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden comprender al menos alrededor del 10 % o al menos alrededor del 15 % o al menos alrededor del 20 % o al menos alrededor del 25 % o al menos alrededor del 30 % o al menos alrededor del 35 % o al menos alrededor del 40 % o al menos alrededor de un 45 % o al menos alrededor de un 50 % menos de carbono sin quemar que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, comprender hasta alrededor de un 100 % menos de carbono sin quemar que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden comprender hasta alrededor del 95 % o hasta alrededor del 90 % o hasta alrededor del 85 % o hasta alrededor del 80 % o hasta alrededor del 75 % o hasta alrededor del 70 % o hasta alrededor del 65 % o hasta un 60 % o hasta un 55 % menos de carbono sin quemar que una ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral.

La "ceniza volante fabricada por el mismo método en ausencia del aditivo mineral" es la ceniza volante hecha exactamente por el mismo método que el método de la invención excepto que el método no implica quemar el combustible en presencia del aditivo mineral usado en el método de la invención (por ejemplo, un aditivo mineral que comprende al menos un silicato tal como un aluminosilicato). Por ejemplo, el método puede llevarse a cabo exactamente en el mismo tipo de central eléctrica usando el mismo combustible y la reacción puede llevarse a cabo a la misma temperatura durante el mismo período de tiempo. Por ejemplo, el método puede llevarse a cabo en ausencia de cualquier aditivo mineral. Por ejemplo, el método puede llevarse a cabo en ausencia de un aditivo mineral descrito en la presente, pero en presencia de un aditivo mineral diferente.

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener uno o más de los requisitos químicos o físicos o requisitos físicos opcionales complementarios descritos en ASTM C618-12a o EN 450-1:2012, cuyo contenido se incorpora a la presente como referencia. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener todos los requisitos químicos y físicos identificados en las Tablas 1 y 2 de ASTM C618-12a. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener todos los requisitos químicos y físicos identificados en las Tablas 1 y 2 de ASTM C618-12a y uno o más de los requisitos físicos opcionales adicionales identificados en la Tabla 3 de ASTM C618-12a. Como se indica en la norma ASTM C618-12a, los requisitos químicos y físicos pueden medirse de acuerdo con los requisitos de los métodos de prueba descritos en la norma ASTM C311.

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener uno o más de los requisitos químicos o físicos o requisitos físicos opcionales complementarios de las cenizas volantes de Clase F descritos en ASTM C618-1a. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener todos los requisitos químicos y físicos identificados en las Tablas 1 y 2 de ASTM C618-12a de cenizas volantes de Clase F. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener todos los requisitos químicos y físicos identificados en las Tablas 1 y 2 de ASTM C618-12a y uno o más de los requisitos físicos opcionales adicionales identificados en la Tabla 3 de ASTM C618-12a de cenizas volantes Clase de F.

Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener uno o más de los requisitos químicos o requisitos físicos o requisitos físicos opcionales complementarios de las cenizas volantes de Clase C descritos en ASTM C618-1a. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener todos los requisitos químicos y físicos identificados en las Tablas 1 y 2 de ASTM C618-12a de cenizas volantes de Clase C. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener todos los requisitos químicos y físicos identificados en las Tablas 1 y 2 de la norma ASTM C618-12a y uno o más de los requisitos físicos opcionales adicionales identificados en la Tabla 3 de la norma ASTM C618-12a de las cenizas volantes Clase de C. Las cenizas volantes pueden, por ejemplo, tener uno o más de los requisitos químicos o físicos o requisitos físicos opcionales complementarios de las cenizas volantes de Clase N descritos en ASTM C618-1a. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener todos los requisitos químicos y físicos identificados en las Tablas 1 y 2 de ASTM C618-12a de cenizas volantes de Clase N. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener todos los requisitos químicos y físicos identificados en las Tablas 1 y 2 de ASTM C618-12a y uno o más de los requisitos físicos opcionales adicionales identificados en la Tabla 3 de ASTM C618-

12a de cenizas volantes de Clase N.

Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener al menos un 70,0 % de dióxido de silicio (SiO_2) más óxido de aluminio (Al_2O_3) más óxido de hierro (Fe_2O_3) y/o un máximo de 5,0 % de trióxido de azufre y/o un contenido máximo de humedad de 3,0 % y/o una máxima pérdida por ignición del 6,0 %. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una finura máxima del 34 % (% retenido cuando se tamiza en húmedo en un tamiz de 45 μm (Nro. 325) y/o un índice de actividad de resistencia mínimo del 75 % con cemento Portland a los 7 días y/o 28 días y/o un requerimiento máximo de agua del 105 % y/o un máximo de 0,8 % de expansión o contracción en autoclave y/o una variación máxima de densidad del 5 % del promedio y/o una variación máxima del % retenido en un tamiz de 45 μm (Nro. 325) de 5 % del promedio. Estas propiedades se miden como se describe en ASTM C618-12a.

Por ejemplo, la ceniza volante puede tener al menos 50,0 % de dióxido de silicio (SiO_2) más óxido de aluminio (Al_2O_3) más óxido de hierro (Fe_2O_3) y/o un máximo de 5,0 % de trióxido de azufre y/o un contenido máximo de humedad de 3,0 % y/o una pérdida por ignición máxima de 6,0 %. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una finura máxima del 34 % (% retenido cuando se tamiza en húmedo en un tamiz de 45 μm (Nro. 325) y/o un índice de actividad de resistencia mínimo del 75 % con cemento Portland a los 7 días y/o 28 días y/o un requerimiento máximo de agua del 105 % y/o un máximo de 0,8 % de expansión o contracción en autoclave y/o una variación máxima de densidad del 5 % del promedio y/o una variación máxima del % retenido en un tamiz de 45 μm (Nro. 325) de 5 % del promedio. Estas propiedades se miden como se describe en ASTM C618-12a.

Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener al menos 70,0 % de dióxido de silicio (SiO_2) más óxido de aluminio (Al_2O_3) más óxido de hierro (Fe_2O_3) y/o un máximo de 4,0 % de trióxido de azufre y/o un contenido máximo de humedad de 3,0 % y/o una pérdida por ignición máxima del 10,0 %. Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener una finura máxima del 34 % (% retenido cuando se tamiza en húmedo en un tamiz de 45 μm (Nro. 325) y/o un índice de actividad de resistencia mínimo del 75 % con cemento Portland a los 7 días y/o 28 días y/o un máximo de 115 % de requerimiento de agua y/o un máximo de 0,8 % de expansión o contracción en autoclave y/o una variación máxima de densidad del 5 % del promedio y/o una variación máxima de % retenido en un tamiz de 45 μm (Nro. 325) de 5 % del promedio. Estas propiedades se miden como se describe en ASTM C618-12a.

Por ejemplo, las cenizas volantes pueden tener un aumento máximo de 0,03 % en la contracción por secado de las barras de mortero a los 28 días sobre el control y/o la cantidad de agente incorporador de aire requerida para producir un contenido de aire de 18,0 % en volumen de mortero puede no variar del promedio establecido por los diez ensayos anteriores o por todos los ensayos anteriores si es menos de diez en más del 20 % y/o la expansión de la mezcla de ensayo como porcentaje del control del cemento bajo en álcali a los 14 días puede ser como máximo del 100 % y/o la expansión de la mezcla de prueba para una exposición moderada a sulfatos después de 6 meses de exposición puede ser como máximo de 0,10 % y/o la expansión de la mezcla de prueba para una exposición alta a sulfatos después de 6 meses de exposición puede ser como máximo de 0,05 % y/o la expansión de la mezcla de ensayo como porcentaje de la resistencia al sulfato del cemento de control después de al menos 6 meses de exposición puede ser como máximo del 100 %. Estas propiedades se miden como se describe en ASTM C618-12a.

Usos de las cenizas volantes

La presente invención proporciona el uso de cenizas volantes como puzolana. Esto significa que tienen poco o ningún efecto cementoso (por ejemplo, aglutinante) por sí mismas, pero reaccionarán con hidróxido de calcio en presencia de agua para formar compuestos que poseen propiedades cementosas. La presente invención también proporciona el uso de cenizas volantes en una composición cementosa tal como cemento (por ejemplo, cemento Portland o cementos combinados) u hormigón. Por ejemplo, la ceniza volante puede usarse como puzolana en dicha composición cementosa. Por lo tanto, también se proporciona en la presente una composición cementosa tal como cemento (por ejemplo, cemento Portland o cementos mezclados) u hormigón que comprende cenizas volantes.

Además, en la presente se proporciona un método para fabricar una composición cementosa tal como cemento u hormigón. El método puede, por ejemplo, comprender proporcionar una ceniza volante descrita en el presente documento (por ejemplo, fabricada mediante el método descrito en el presente documento) y combinar dicha ceniza volante con un material a base de calcio y/o a base de silicato, donde la ceniza volante actúa como una puzolana para formar una composición cementosa. El material a base de calcio y/o a base de silicato puede ser, por ejemplo, cemento Portland.

Las cenizas volantes pueden ser, por ejemplo, cenizas volantes obtenidas u obtenibles mediante cualquier método que se describa en la presente, incluyendo todas sus realizaciones. Las cenizas volantes pueden ser, por ejemplo, como se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, la ceniza volante puede ser, por ejemplo, una ceniza volante con una actividad puzolánica particular.

Cuando se prepara una composición cementosa de acuerdo con la presente invención, los componentes de la composición se pueden añadir adecuadamente a la composición en cualquier orden y/o combinación. Por ejemplo, la ceniza volante puede mezclarse con el material basado en calcio y/o basado en silicato (por ejemplo, cemento Portland) para formar una composición cementosa. Esta composición cementosa se puede añadir posteriormente a un material agregado granular para fabricar una composición de hormigón. Alternativamente, el cemento Portland y las cenizas

volantes se pueden agregar por separado a un material granular (en cualquier orden) para fabricar una composición de hormigón.

La composición cementosa puede ser, por ejemplo, cemento. La composición cementosa puede comprender, por ejemplo, cemento Portland y cenizas volantes. El cemento Portland es un polvo fino producido por la molienda de clínker de cemento Portland, sulfato de calcio y hasta un 5 % en peso de componentes menores de acuerdo con las normas correspondientes. El clínker de cemento Portland es un material hidráulico que consiste en al menos dos tercios en masa de silicatos de calcio, mientras que el resto comprende fases de clínker que contienen aluminio y hierro y otros compuestos. La proporción de CaO a SiO_2 normalmente no puede ser inferior a 2 y el contenido de MgO no puede exceder el 5 % en masa. Los constituyentes típicos en porcentaje de masa del clínker Portland son silicato tricálcico (45-75 %), silicato dicálcico (7-32 %), aluminato tricálcico (0-13 %), aluminoferrito tetracálcico (0-18 %), yeso, es decir, sulfato de calcio (2-10 %) y en el cemento Portland son óxido de calcio (61-67 %), óxido de silicio (19-23 %), óxido de aluminio (2,5-6 %) y óxido férrico (0-6 %). El cemento Portland puede ser, por ejemplo, cemento Portland ordinario (OPC). El cemento Portland puede ser, por ejemplo, cemento Portland blanco. Por ejemplo, el cemento Portland puede ser cemento Portland ASTM C150 (por ejemplo, cualquiera o más de los tipos I, II, III, IV, V, Ia, IIa, IIIa, II(MH) y II(MH)a). Por ejemplo, el cemento Portland puede ser EN 197 (por ejemplo, cualquiera o más de las clases I, II, III, IV y V). El cemento Portland puede, por ejemplo, incluir aquellos componentes que cumplan con la norma británica BS12 (EN 197-1:2000). El uso de las cenizas volantes descritas en la presente como puzolana puede, por ejemplo, reducir la cantidad de cemento Portland que se necesita/utiliza en composiciones cementosas como el hormigón.

El hormigón es un material compuesto que comprende un material agregado granular incrustado en una matriz dura de material (por ejemplo, una composición aglutinante como el cemento). El hormigón puede, por ejemplo, comprender uno o más de grava, piedra triturada, arena, aglutinante de cemento, agua, aditivos químicos, aditivos minerales y otros aditivos, como, por ejemplo, fibras. El material compuesto se forma combinando los componentes de acuerdo con la práctica y las normas establecidas, en función del tipo de hormigón requerido y su uso previsto. Los agregados pueden tener un tamaño de hasta 20 mm, por ejemplo, alrededor de 10 mm de tamaño. Los ejemplos de aditivos químicos son superplastificantes, inclusores de aire, retardadores, aceleradores, pigmentos e inhibidores de corrosión.

Las composiciones de hormigón pueden, por ejemplo, seleccionarse entre uno o más de hormigón de alto rendimiento, hormigón de alta resistencia, hormigón ligero, hormigón prefabricado y vertido en molde, hormigón en losa, hormigón autocompactante, hormigón reforzado con fibra de vidrio y hormigones especiales para ambientes hostiles.

Las composiciones de hormigón pueden, por ejemplo, comprender de alrededor del 5 % en peso hasta alrededor del 75 % en peso de cenizas volantes. Por ejemplo, las composiciones de hormigón pueden comprender de alrededor del 10 % en peso hasta alrededor del 65 % en peso de cenizas volantes, por ejemplo, de alrededor del 20 % en peso hasta alrededor del 55 % en peso o el 50 % en peso de cenizas volantes. Por ejemplo, de alrededor del 25 % en peso hasta alrededor del 50 % en peso de cenizas volantes.

Ejemplos

Ejemplo 1

Las cenizas volantes se produjeron quemando un combustible compuesto por un 80 % de carbón con alto contenido de S-Fe de los Apalaches centrales y un 20 % de carbón PRB con alto contenido de K, Na en presencia de un aluminosilicato hidratado en un horno PC de 300 MWe bajo presión negativa. El horno se alimentó con 2600 toneladas de combustible por día y se utilizó de 0,6 a 1,6 % de aluminosilicato hidratado seco conforme al peso total de combustible. El aluminosilicato hidratado se preparó en forma de suspensión y se inyectó en la cinta transportadora de carbón antes del abastecimiento de combustible. La combustión produjo aproximadamente un 10 % de cenizas en función de la cantidad total de combustible utilizado, de las cuales aproximadamente un 15 % eran cenizas de fondo y un 85 % eran cenizas volantes.

Se determinó el % de contenido de ceniza en combustible seco a 550 °C, el índice de actividad de fuerza, el % de contenido amorfo de la ceniza, el % de sílice disponible en la fase amorfa de la ceniza, la demanda de Ca(OH)_2 y la LOI de la ceniza mediante los métodos descritos anteriormente.

Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.

Sistema	% de aditivo mineral en combustible seco	% de ceniza (d.b. 550 °C)	Índice de actividad de fuerza	Actividad puzolánica			LOI (%)
				% de contenido de fase amorfa	% de sílice disponible en la fase amorfa	Demanda de Ca(OH)_2 (mg por g de ceniza volante)	
Tipo de carbón	0	11,5	78	64	39,50	245	8,97
	1,6	11,5	80	62	42,60	406	7,23

Ejemplo 2

5 Las cenizas volantes se produjeron quemando un combustible que comprendía gránulos de combustible ricos en calcio y potasio con un contenido de cenizas de alrededor de 0,2 % en peso a alrededor de 1,1 % en peso en presencia de aluminosilicato hidratado en una caldera PC de 300 MWe. El horno se alimentó con 150 toneladas de combustible por hora y 0 o 1 % de aluminosilicato hidratado seco en función del peso total del combustible.

10 Se determinó el % de contenido de ceniza en combustible seco a 550 °C, el índice de actividad de fuerza, el % de contenido amorfo de la ceniza, el % de sílice disponible en la fase amorfa de la ceniza, la demanda de Ca(OH)_2 y la LOI de la ceniza mediante los métodos descritos anteriormente.

Los resultados se muestran en la Tabla 2.

15

Tabla 2.

Sistema	% de aditivo mineral en combustible seco	% de ceniza (d.b. 550 °C)	Índice de actividad de fuerza	Actividad puzolánica			LOI (%)
				% de contenido de fase amorfa	% de sílice disponible en la fase amorfa	Demanda de Ca(OH)_2 (mg por g de ceniza volante)	
Tipo de gránulos de madera	0	0,55	72	51	0,00	195	24,11
	1	0,55	79	61	21,07	391	11,29

Ejemplo 3

20 Las cenizas volantes se produjeron quemando 100 % de carbón de la Cuenca de Illinois en presencia de un aluminosilicato hidratado en un horno PC de 1300 MWe bajo presión negativa. El horno se alimentó con 11000 toneladas de combustible por día y se utilizó un 1 % de aluminosilicato hidratado seco en función del peso total del combustible. El aluminosilicato hidratado se preparó en forma de suspensión y se inyectó en la cinta transportadora de carbón antes del abastecimiento de combustible. La combustión produjo aproximadamente un 10 % de cenizas en función de la cantidad total de combustible utilizado, de las cuales aproximadamente un 15 % eran cenizas de fondo y un 85 % eran cenizas volantes.

25

Se determinó el % de contenido de ceniza en combustible seco a 550 °C, el índice de actividad de fuerza, el % de contenido amorfo de la ceniza, el % de sílice disponible en la fase amorfa de la ceniza, la demanda de Ca(OH)_2 y la LOI de la ceniza mediante los métodos descritos anteriormente.

30

Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Sistema	% de aditivo mineral en combustible seco	% de ceniza (d.b. 550 °C)	Índice de actividad de fuerza	Actividad puzolánica			LOI (%)
				% de contenido de fase amorfa	% de sílice disponible en la fase amorfa	Demanda de Ca(OH)_2 (mg por g de ceniza volante)	
Tipo de carbón	0	9,1	94	76	39,12	380	3,55
	1	11,5	93	75	43,47	520	2,44

REIVINDICACIONES

1. Un uso de una ceniza volante como puzolana, donde la ceniza volante se obtiene mediante un método que comprende: quemar un combustible en presencia de un aditivo mineral para producir cenizas volantes, donde el aditivo mineral comprende al menos un silicato, donde al menos un silicato se selecciona de aluminosilicatos, donde el aditivo mineral comprende menos del 20 % en peso de óxido de calcio y donde el aditivo mineral se combina con el combustible antes de la combustión y/o se añade al horno durante la combustión.
2. El uso de la reivindicación 1, donde las cenizas volantes actúan como una puzolana en una composición cementosa, por ejemplo, cemento u hormigón.
3. Un método para fabricar una composición cementosa, por ejemplo, hormigón, donde el método comprende: proporcionar una ceniza volante fabricada mediante un método que comprende quemar un combustible en presencia de un aditivo mineral para fabricar una ceniza volante, donde el aditivo mineral comprende al menos un silicato, donde al menos un silicato se selecciona de aluminosilicatos, donde el aditivo mineral comprende menos del 20 % en peso de óxido de calcio y donde el aditivo mineral se combina con el combustible antes de la combustión y/o se agrega al horno durante la combustión y combinar las cenizas volantes con un material a base de calcio y/o a base de silicato y, opcionalmente, un material de agregado granular, donde las cenizas volantes actúan como una puzolana para formar la composición cementosa.
4. El uso o método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el aluminosilicato se selecciona del grupo que consiste en caolín, haloisita, arcilla bola, arcilla en trozo, arcilla bauxita, arcilla calcinada, esmectita, bentonita, marga arcillosa, marga, marga calcárea, andalucita, cianita, silimanita, perlita, mica, clorita, atapulgita o paligorskita y pirofilita.
5. El uso o método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el % de silicato seco agregado al combustible húmedo en relación con el % de ceniza en el combustible seco a 550 °C oscila entre 0,01 y 10.
6. El uso o método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el aditivo mineral comprende además un mineral que contiene un metal alcalinotérreo, por ejemplo, un mineral que contiene magnesio o un mineral que contiene calcio.
7. El uso o método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el aditivo mineral comprende además uno o más de carbonato de calcio, piedra caliza, mármol, tiza, dolomita, arena aragonítica, conchas marinas, coral, polvo de horno de cemento, talco, brucita, 35 magnesio carbonato, un mineral que contiene carbonato de magnesio y un mineral que contiene carbonato de calcio.
8. El uso o método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el aditivo mineral comprende además un mineral de silicato de área superficial alta tal como tierra de diatomeas.
9. El uso o método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el aditivo mineral comprende de 15 % en peso a 100 % en peso de silicato total, por ejemplo, de 20 % en peso o de 40 % en peso a 85 % en peso de silicato.
10. El uso o método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el combustible comprende uno o más de carbón, coque de petróleo, lignito, biocombustible y combustible derivado de desechos.
11. El uso o método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el método se lleva a cabo en una planta de combustible fósil o una planta de energía de biomasa o una planta de energía de conversión de residuos en energía.