

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 998 034**

51 Int. Cl.:

C04B 7/12 (2006.01)

C04B 14/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.10.2021 PCT/FR2021/051910**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.05.2022 WO22096812**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.10.2021 E 21810675 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2024 EP 4081490**

54 Título: **Método de producción de arcilla calcinada**

30 Prioridad:

05.11.2020 FR 2011381

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

18.02.2025

73 Titular/es:

**FIVES FCB (100.00%)
50, Rue de Ticléni
59650 Villeneuve d'Ascq, FR**

72 Inventor/es:

CHARMET, JEAN-MICHEL

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 998 034 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 producción de arcilla calcinada

5 **Sector técnico**

La invención se refiere a un método de producción de arcilla calcinada. En particular, la invención se refiere a un método de producción de arcilla calcinada destinada a ser utilizada como componente de un cemento.

10 **Antecedentes de la técnica**

La fabricación de cemento utiliza en su mayor parte un material cocido, el clínker, que se produce a partir de minerales cuyo componente esencial es el carbonato de calcio.

15 El clínker se obtiene a partir de una materia prima compuesta por una mezcla de minerales, entre los que destacan la arcilla, fuente de aluminosilicatos, y la caliza, fuente de carbonato de calcio. Estos minerales se mezclan, se secan, se muelen, se precalientan, se descarbonizan sucesivamente, después se cuecen y se funden parcialmente en un horno rotatorio hasta una temperatura de aproximadamente 1500 °C, después se enfría el clínker así formado.

20 El cemento se obtiene moliendo finamente una mezcla compuesta principalmente de clínker.

En el método de fabricación del clínker, además de las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de los combustibles utilizados, el carbonato de calcio procedente principalmente de la caliza se descarboniza para obtener cal apta para recombinarse con los óxidos de silicio, de aluminio y de hierro en el horno rotatorio para formar el clínker.
25 Esta etapa de descarbonización libera una importante cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera.

Las legislaciones nacionales en materia de emisión de dióxido de carbono se han endurecido y obligan a los actores a reducir las cantidades emitidas.

30 Además del clínker, el cemento contiene yeso que permite regular el tiempo de fraguado de morteros y hormigones. El cemento también contiene cada vez más a menudo, y en proporción cada vez mayor, materiales denominados comúnmente "adiciones de cemento" que sustituyen al clínker para reducir el impacto ambiental y el coste de fabricación del cemento.

35 Por ejemplo, los materiales sustitutivos del clínker más utilizados actualmente son la caliza, las escorias de altos hornos, las cenizas volantes de las centrales de carbón y la puzolana natural.

Aparte de la caliza, que actúa simplemente como "filler", un anglicismo utilizado comúnmente para designar rellenos, estos materiales sustitutivos del clínker tienen una reactividad puzolánica que les permite participar en la reacción de fraguado hidráulico. Esta reactividad puzolánica contribuye al mantenimiento de las propiedades mecánicas deseadas de los morteros y hormigones cuando la parte de clínker se reduce.
40

Las arcillas que contienen caolinita adquieren, cuando se calcinan, una reactividad puzolánica y se convierten en excelentes materiales sustitutivos del clínker en la fabricación de cemento. También se denominan "puzolanas artificiales".

45 A diferencia de la producción de clínker, la producción de arcilla calcinada emite poco CO₂.

Al disminuir juiciosamente la proporción de clínker mientras se aumenta la proporción de arcilla calcinada, es posible producir un cemento con las propiedades deseadas.

50 Debido a los óxidos de hierro III, Fe₂O₃, que contiene, la arcilla tiene un tono rojizo. En ausencia de tratamiento, la adición de arcilla calcinada en un cemento dará lugar a la producción de un cemento con un tono rosado.

Los fabricantes de cemento, y los usuarios finales, desean tener un cemento de color gris.

55 Se han implementado varios métodos para modificar el tono natural de la arcilla calcinada y volverla grisácea.

Entre estas técnicas, puede citarse un método que consiste en hacer reaccionar químicamente moléculas de óxidos de hierro III Fe₂O₃ para obtener tetraóxidos de trihierro Fe₃O₄. Se trata de una reacción de oxido-reducción. Después de una primera etapa de calcinación de la arcilla, esta se envía a una zona de reducción donde se inyecta un agente reductor líquido directamente sobre la arcilla, en particular gasóleo. El gasóleo crea las condiciones que permiten una reducción de los óxidos de hierro III para obtener tetraóxidos de trihierro y óxidos de hierro FeO.
60

DE 102011014498 describe un método de producción de arcilla calcinada para su uso como material complementario, el método comprende, entre otras, una etapa c) de calcinación de arcilla que comprende caolinita entre 700 °C y 900 °C y una etapa d) de reducción en la que se inyecta un hidrocarburo en forma líquida y se gasifica bajo el efecto del calor.
65

Aunque este método permite obtener una arcilla de color gris, presenta dos inconvenientes principales:

- se inyecta una importante cantidad de gasóleo para la reducción de óxidos de hierro III, afectando al coste de la arcilla por un lado y al medio ambiente por el otro,
- la reacción de reducción debe realizarse a alta temperatura afectando a la eficiencia energética de este método.

La invención tiene como objetivo subsanar este inconveniente.

Sumario de la invención

Para ello, se propone en primer lugar un método de producción de arcilla calcinada según la reivindicación 1.

Este método permite obtener, ventajosamente, una arcilla de color gris utilizando una pequeña cantidad de reactivo, significativamente inferior a la cantidad utilizada con reactivos líquidos. Además, este método permite aumentar la eficiencia energética ya que la etapa de reducción se lleva a cabo a temperaturas inferiores en comparación con un método que utilice reactivos líquidos.

Pueden preverse diversas características complementarias solas o en combinación:

- método en donde;
- el gas de reducción contiene reactivos de tipo hidrocarburos gaseosos, o
- el gas de reducción contiene reactivos de tipo dihidrógeno y monóxido de carbono, o
- el gas de reducción contiene un reactivo de tipo dihidrógeno, o
- el gas de reducción contiene reactivos de tipo hidrocarburos gaseosos, dihidrógeno y monóxido de carbono;
- durante la operación de enfriamiento en la cámara de reducción, la temperatura de la arcilla calcinada se reduce por debajo de una temperatura umbral que permite impedir la reoxidación de los óxidos de hierro II y/o de los tetraóxidos de trihierro contenidos en la arcilla calcinada, estando dicha temperatura umbral comprendida sustancialmente entre 300 °C y 600 °C;
- la cantidad de gas de reducción inyectada en la etapa de reducción corresponde a una cantidad sustancialmente comprendida entre 0,01 y 2 moles de reactivos por mol de óxido de hierro III presente en la arcilla calcinada;
- el método incluye una etapa intermedia de enfriamiento entre la etapa de calcinación y la etapa de reducción, permitiendo esta etapa intermedia de enfriamiento enfriar la arcilla calcinada hasta una temperatura de reducción comprendida entre 300 °C y 800 °C;
- la etapa de reducción se realiza a una temperatura de reducción comprendida entre 300 °C y 800 °C;
- el gas de reducción contiene reactivos del tipo hidrocarburos gaseosos C_nH_m constituidos por n átomos de carbono y por m átomos de hidrógeno;
- la cantidad de gas de reducción inyectada en la etapa de reducción corresponde a una cantidad sustancialmente comprendida entre 0,01 y 1 mol de reactivos por mol de óxido de hierro III presente en la arcilla calcinada;
- el gas de reducción es un reactivo de tipo dihidrógeno;
- la cantidad de gas de reducción inyectada en la etapa de reducción corresponde a una cantidad sustancialmente comprendida entre 0,2 y 2 moles de reactivo por mol de óxidos de hierro III presente en la arcilla calcinada;
- el gas de reducción contiene una mezcla de reactivos de tipo dihidrógeno y monóxido de carbono;
- la cantidad de gas de reducción inyectada en la etapa de reducción corresponde a una cantidad sustancialmente comprendida entre 0,2 y 2 moles de reactivos por mol de óxido de hierro III presente en la arcilla calcinada;
- el gas de reducción contiene una mezcla de reactivos de tipo hidrocarburos gaseosos C_nH_m , dihidrógeno y monóxido de carbono;
- la cantidad de gas de reducción inyectada en la etapa de reducción corresponde a una cantidad sustancialmente comprendida entre 0,05 y 2 moles de reactivos por mol de óxidos de hierro III presente en la arcilla calcinada;

- la arcilla contiene caolinita;
 - la temperatura de calcinación en la etapa de calcinación es inferior a 950 °C;
- 5 - la arcilla calcinada es apta para ser mezclada con clínker destinado a la producción de cemento.

En segundo lugar, se propone el uso de un método como el descrito anteriormente para producir arcilla calcinada para la producción de cemento.

10 **Breve descripción de los dibujos**

Otras características, detalles y ventajas aparecerán en la lectura de la descripción detallada a continuación, y en el análisis de los dibujos adjuntos, en los que:

15 **Figura 1**

[Figura 1] la Figura 1 es una representación esquemática de una instalación según la invención.

20 **Figura 2**

[Figura 2] la Figura 2 es una representación esquemática de un método según la invención.

Descripción detallada de la invención

25 Los dibujos y la siguiente descripción contienen, a grandes rasgos, elementos de determinado carácter. Por lo tanto, no solo podrán servir para comprender mejor la presente descripción, sino también para contribuir a su definición, llegado el caso.

En la Figura 1 se representa una unidad 1 de producción de arcilla calcinada.

30 La unidad 1 comprende:

- un molino 2,
- un precalentador 3,
- 35 - un filtro 4,
- una cámara 5 de combustión,
- 40 - un calcinador 6,
- un sistema 7 de reducción,
- un enfriador final 8,
- 45 - un primer sistema 9 de enfriamiento,
- un segundo sistema 10 de enfriamiento.

50 En primer lugar se describe el recorrido de los gases y de la arcilla en la unidad 1 de producción representada en la Figura 1. En la cámara 5 de combustión, se inyecta aire 11 y un combustible 12. Un quemador 13 enciende esta mezcla en la cámara 5 de combustión. Los gases calientes salen de la cámara 5 de combustión y se envían al calcinador 6, después al precalentador 3 y finalmente al molino 2. Estos gases calientes se expulsan a través del filtro 4. Al mismo tiempo, la arcilla se desplaza desde el molino 2 hasta el enfriador final 8, pasando respectivamente
55 por el precalentador 3, el calcinador 6 y el sistema 7 de reducción. El aire 16 utilizado en el enfriador final 8 se dirige, al menos parcialmente, a la cámara 5 de combustión.

A continuación, se describirá un método 14 según la invención.

60 Con referencia a los dibujos, el método 14 según la invención incluye una primera etapa E1 en la que arcilla en bruto que contiene óxidos de hierro III Fe_2O_3 se muele y se seca en el molino 2.

En los dibujos, las líneas continuas representan el trayecto de la arcilla y las líneas discontinuas indican el trayecto de los flujos de gas.

65

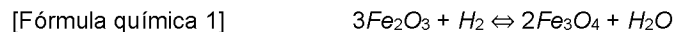
La arcilla molida y secada se envía al precalentador 3, excepto la fracción más fina, que es transportada al filtro 4 por el flujo de gases calientes.

5 El método incluye una segunda etapa E2 de precalentamiento. En el precalentador 3 la arcilla molida y secada es precalentada por los gases calientes procedentes del calcinador 6 hasta una temperatura comprendida entre 300 °C y 800 °C.

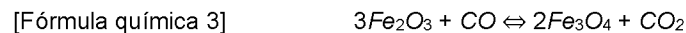
10 A continuación, la arcilla precalentada es dirigida al calcinador 6. Por lo tanto, el método incluye una tercera etapa E3 de calcinación. Para activar el poder puzolánico de la arcilla calcinada y hacerla utilizable en la fabricación de cemento, la calcinación se realiza a una temperatura inferior a 950 °C. Preferiblemente, la calcinación se realiza a una temperatura comprendida entre 700 °C y 900 °C. La calcinación se realiza en condiciones estequiométricas u oxidantes. En otras palabras, el flujo gaseoso en el calcinador 6 se genera en la cámara 5 de combustión mediante la combustión de la mezcla de un comburente y de un combustible en proporciones estequiométricas para una combustión completa o bien con un exceso de comburente para una combustión oxidante. En la forma de realización representada en los dibujos, la cámara 5 de combustión es distinta del calcinador 6 con aire como comburente principalmente. Como se mencionó anteriormente, los gases calientes producidos en la cámara 5 de combustión se envían al calcinador 6 para calcinar la arcilla.

20 La arcilla calcinada se dirige hacia el sistema 7 de reducción. De este modo, el método incluye una cuarta etapa E4 de reducción de los óxidos de hierro III contenidos en la arcilla calcinada. La reducción se logra inyectando un gas 15 de reducción que contiene átomos de hidrógeno, poniendo en contacto este gas con la arcilla calcinada. El gas 15 de reducción se envía a continuación a la cámara 5 de combustión.

25 El gas 15 de reducción que contiene átomos de hidrógeno permite reducir los óxidos de hierro III según las siguientes fórmulas para obtener principalmente tetraóxidos de trihierro y eventualmente óxidos de hierro II FeO:



30 y según las siguientes fórmulas, el monóxido de carbono, cuando está presente, reacciona con los óxidos de hierro III:



35 El uso de un gas que contenga átomos de hidrógeno en lugar de gasóleo o cualquier otro combustible líquido como agente reductor permite reducir significativamente la cantidad de agente reductor en la etapa E4 de reducción. Por lo tanto, la arcilla calcinada de color gris se produce a un coste significativamente inferior. Además, se reduce el impacto sobre el medio ambiente de la producción de arcilla calcinada de color gris.

40 La arcilla calcinada de color gris se dirige a continuación al enfriador final 8, donde la arcilla calcinada se enfría con aire. El método comprende así una cuarta etapa E5 de enfriamiento final.

45 Ventajosamente, el gas 15 de reducción contiene:

- reactivos de tipo hidrocarburos gaseosos de fórmula genérica CnHm o
- una mezcla de reactivos de tipo dihidrógeno H2 y monóxido de carbono CO o
- 50 - un reactivo de tipo dihidrógeno H2 o
- una mezcla de reactivos de tipo hidrocarburos gaseosos de fórmula genérica CnHm, dihidrógeno y monóxido de carbono.

55 Cabe destacar que estos gases pueden mezclarse con otros gases, principalmente nitrógeno y/o dióxido de carbono.

60 Ventajosamente, la cuarta etapa E4 de reducción incluye una operación O1 de enfriamiento que implementa el primer dispositivo 9 de enfriamiento. La operación O1 de enfriamiento tiene lugar de forma simultánea con la reducción de óxidos de hierro III. Esto permite reducir la temperatura de la arcilla calcinada durante la cuarta etapa E4 de reducción para impedir la reoxidación de los óxidos de hierro II y/o de los tetraóxidos de trihierro después de dicha cuarta etapa E4 de reducción y a la salida del sistema 7 de reducción.

65 Ventajosamente, la operación O1 de enfriamiento en la cuarta etapa E4 de reducción se realiza por medio de un fluido de enfriamiento sin contacto directo con la arcilla calcinada o por contacto directo con la arcilla calcinada si el fluido de enfriamiento contiene menos del 10 % de dióxígeno en volumen, por ejemplo gases de combustión

tomados a la salida del precalentador 3 o del calcinador 6. Esto permite impedir cualquier reoxidación significativa de los óxidos de hierro II y/o de los tetraóxidos de trihierro durante y después de dicha cuarta etapa E4 de reducción.

5 Ventajosamente, durante la operación O1 de enfriamiento en el sistema 7 de reducción, la temperatura de la arcilla calcinada se reduce por debajo de una temperatura umbral comprendida entre 300 °C y 600 °C, lo que permite impedir la reoxidación de los óxidos de hierro II y/o de los tetraóxidos de trihierro.

10 Ventajosamente, la cantidad de gas 15 de reducción inyectada en la cuarta etapa E4 de reducción corresponde a una cantidad sustancialmente comprendida entre 0,01 y 2 moles de reactivos por mol de óxidos de hierro III presente en la arcilla calcinada. Respetando esta dosificación, se obtiene una arcilla calcinada con los tonos grisáceos deseados a la vez que se minimiza el aporte de gas, lo que permite reducir los costes de producción de la arcilla y su impacto en el medio ambiente.

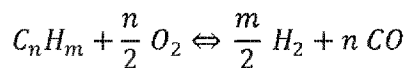
15 Ventajosamente, el método incluye una etapa intermedia Ei de enfriamiento entre la tercera etapa E3 de calcinación y la cuarta etapa E4 de reducción, implementándose la etapa intermedia Ei de enfriamiento mediante el segundo dispositivo 10 de enfriamiento. La etapa intermedia Ei de enfriamiento permite enfriar la arcilla calcinada hasta una temperatura de reducción comprendida entre 300 °C y 800 °C. Esta etapa intermedia Ei de enfriamiento se realiza antes de que la arcilla calcinada entre en el sistema 7 de reducción. Este enfriamiento intermedio se puede llevar a cabo por cualquier medio útil, en particular por aire. Al enfriar la arcilla calcinada antes del sistema 7 de reducción, es posible mejorar la eficiencia energética de la unidad 1 de producción. La energía calorífica del enfriamiento se utiliza para otras aplicaciones, en el mismo método o para otro uso. Esto es posible gracias al uso de un gas que contiene átomos de hidrógeno como agente reductor, que permite una reducción de los óxidos de hierro III a temperaturas más bajas que en un método que utilice un agente reductor líquido en particular.

25 De este modo, se deduce que la cuarta etapa E4 de reducción se realiza a una temperatura de reducción comprendida entre 300 °C y 800 °C. Esta temperatura de reducción permite mejorar la eficiencia energética de la unidad 1 de producción.

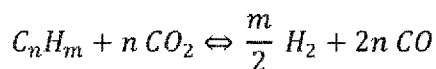
30 Según una primera forma de realización de la invención, el gas 15 de reducción contiene reactivos de tipo hidrocarburos gaseosos de fórmula genérica C_nH_m constituidos por n átomos de carbono y m átomos de hidrógeno. Este gas es fácil de conseguir y contiene muchos átomos de hidrógeno, lo que lo hace especialmente útil.

35 El gas 15 de reducción contiene, por ejemplo, metano, propano o butano. En esta primera forma de realización, este gas 15 de reducción experimenta reacciones parciales de disociación en el sistema 7 de reducción en presencia de dióxígeno O_2 , de dióxido de carbono CO_2 y de vapor de agua H_2O contenidos en los gases de combustión. De hecho, el material calcinado lleva consigo, entre las partículas, una pequeña cantidad de gas de combustión. Las reacciones de disociación son las siguientes:

[Fórmula química 5]

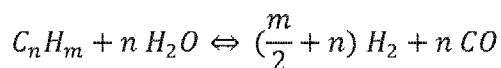


[Fórmula química 6]



40

[Fórmula química 7]



45

En la primera forma de realización, el gas 15 de reducción se transforma parcialmente, en un primer momento, en una mezcla de dihidrógeno y monóxido de carbono.

La cantidad de reactivos de tipo hidrocarburos gaseosos de fórmula genérica C_nH_m inyectada en la etapa de reducción oscila sustancialmente entre 0,01 mol y 1 mol de reactivos por mol de óxidos de hierro III presente en la arcilla calcinada. La solicitante determinó que esta cantidad permite obtener los tonos grisáceos deseados a la vez que minimiza esta cantidad para reducir el coste de producción de la arcilla calcinada a la vez que reduce el impacto en el medio ambiente.

50

Según una segunda forma de realización de la invención, el gas 15 de reducción contiene un reactivo de tipo dihidrógeno. Este gas permite impedir la producción de óxidos de carbono durante la etapa de reducción.

La cantidad de reactivo del tipo dihidrógeno inyectado en la etapa de reducción está comprendida sustancialmente entre 0,2 moles y 2 moles de reactivo por mol de óxidos de hierro III presente en la arcilla calcinada. La solicitante determinó que esta cantidad permite obtener los tonos grisáceos deseados a la vez que minimiza esta cantidad para reducir el coste de producción de la arcilla calcinada a la vez que reduce el impacto en el medio ambiente.

5 Según una tercera forma de realización de la invención, el gas 15 de reducción contiene una mezcla de reactivos de tipo dihidrógeno y monóxido de carbono. Este gas tiene la ventaja de ser fácil de sintetizar *in situ* en un reactor específico, comúnmente conocido como “generador de endogás”.

10 La cantidad de esta mezcla de reactivos de tipo dihidrógeno y monóxido de carbono inyectada en la etapa de reducción está comprendida sustancialmente entre 0,2 moles y 2 moles de reactivos por mol de óxidos de hierro III presentes en la arcilla calcinada. La solicitante determinó que esta cantidad permite obtener los tonos grisáceos deseados a la vez que minimiza esta cantidad para reducir el coste de producción de la arcilla calcinada a la vez que reduce el impacto en el medio ambiente.

15 Según una cuarta forma de realización de la invención, el gas 15 de reducción contiene una mezcla de reactivos de tipo hidrocarburos gaseosos de forma genérica C_nH_m , dihidrógeno y monóxido de carbono. Este gas tiene la ventaja de ser fácil de sintetizar *in situ* en un reactor específico, comúnmente conocido como “generador de exogás”.

20 La cantidad de esta mezcla de reactivos del tipo hidrocarburos gaseosos, dihidrógeno y monóxido de carbono, inyectada en la etapa de reducción está comprendida sustancialmente entre 0,05 moles y 2 moles de reactivos por mol de óxidos de hierro III presentes en la arcilla calcinada. La solicitante determinó que esta cantidad permite obtener los tonos grisáceos deseados a la vez que minimiza esta cantidad para reducir el coste de producción de la arcilla calcinada a la vez que reduce el impacto en el medio ambiente.

25 Ventajosamente, la arcilla en bruto utilizada en este método 14 de producción comprende caolinita. Este tipo de arcilla puede utilizarse como sustituto parcial del clínker en la producción de cemento.

De este modo, la arcilla calcinada obtenida mediante el método descrito anteriormente puede mezclarse con clínker destinado a la producción de cemento.

30 La invención también se refiere al uso del método 14 descrito anteriormente para producir arcilla calcinada destinada a la producción de cemento. Tal uso permite producir un cemento de color grisáceo, reduciendo la parte de clínker en el cemento reemplazándola por arcilla calcinada. El cemento así obtenido presenta un tono grisáceo deseado y unas propiedades mecánicas sustancialmente idénticas a las de un cemento sin arcilla calcinada.

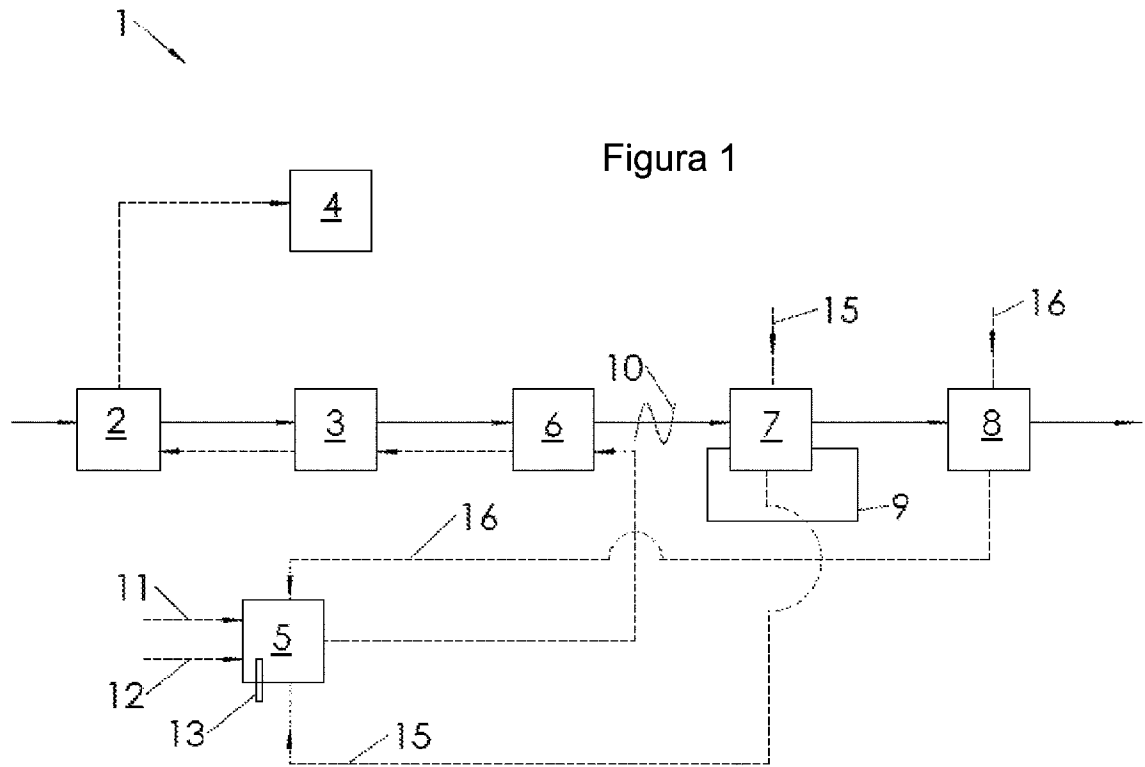
35

REIVINDICACIONES

1. Método (14) de producción de arcilla calcinada que tiene características de color deseadas, **caracterizado por que** el método (14) comprende:
- 5
- una etapa (E3) de calcinación de una arcilla en un calcinador (6), realizándose dicha etapa (E3) de calcinación en condiciones estequiométricas u oxidantes,
 - una etapa (E4) de reducción de óxidos de hierro III presentes en la arcilla calcinada en un sistema (7) de reducción distinto del calcinador (6), realizándose esta etapa (E4) de reducción mediante la inyección de un gas (15) de reducción, que contiene átomos de hidrógeno y se pone en contacto directo con la arcilla calcinada, la etapa (E4) de reducción incluye una operación (O1) de enfriamiento de la arcilla calcinada que tiene lugar simultáneamente con la reducción de óxidos de hierro III,
 - 10 durante la operación (O1) de enfriamiento en el sistema (7) de reducción, la temperatura de la arcilla calcinada se reduce por debajo de una temperatura umbral que permite impedir la reoxidación de los óxidos de hierro II y/o de los tetraóxidos de trihierro contenidos en la arcilla calcinada, estando dicha temperatura umbral comprendida entre 300 °C y 600 °C.
- 15
2. Método (14) según la reivindicación 1, en donde:
- 20
- el gas (15) de reducción contiene hidrocarburos gaseosos o
 - el gas (15) de reducción contiene dihidrógeno y monóxido de carbono o
 - el gas (15) de reducción contiene dihidrógeno o
 - el gas (15) de reducción contiene hidrocarburos gaseosos, dihidrógeno y monóxido de carbono.
- 25
3. Método (14) según una de las reivindicaciones 1 o 2, en donde la cantidad de gas (15) de reducción inyectada en la etapa (E4) de reducción corresponde a una cantidad comprendida entre 0,01 y 2 moles de reactivos por mol de óxido de hierro III presente en la arcilla calcinada.
- 30
4. Método (14) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde este incluye una etapa intermedia (Ei) de enfriamiento entre la etapa (E3) de calcinación y la etapa (E4) de reducción, permitiendo esta etapa intermedia (Ei) de enfriamiento enfriar la arcilla calcinada hasta una temperatura de reducción comprendida entre 300 °C y 800 °C.
- 35
5. Método (14) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de reducción se realiza a una temperatura de reducción comprendida entre 300 °C y 800 °C.
- 40
6. Método (14) según la reivindicación 2, en donde el gas de reducción contiene hidrocarburos gaseosos C_nH_m constituidos por n átomos de carbono y m átomos de hidrógeno.
- 45
7. Método (14) según la reivindicación 6, en donde la cantidad de gas (15) de reducción inyectada en la etapa (E4) de reducción corresponde a una cantidad comprendida entre 0,01 y 1 mol de reactivos por mol de óxido de hierro III presente en la arcilla calcinada.
- 50
8. Método (14) según la reivindicación 2, en donde el gas de reducción es dihidrógeno.
9. Método (14) según la reivindicación 8, en donde la cantidad de gas (15) de reducción inyectada en la etapa (E4) de reducción corresponde a una cantidad comprendida entre 0,2 y 2 moles de reactivo por mol de óxidos de hierro III presente en la arcilla calcinada.
- 55
10. Método (14) según la reivindicación 2, en donde el gas (15) de reducción contiene una mezcla de dihidrógeno y de monóxido de carbono.
11. Método (14) según la reivindicación 10, en donde la cantidad de gas (15) de reducción inyectada en la etapa (E4) de reducción corresponde a una cantidad comprendida entre 0,2 y 2 moles de reactivos por mol de óxido de hierro III presente en la arcilla calcinada.
- 60
12. Método (14) según la reivindicación 2, en donde el gas (15) de reducción contiene una mezcla de hidrocarburos gaseosos C_nH_m , de dihidrógeno y de monóxido de carbono.
13. Método (14) según la reivindicación 12, en donde la cantidad de gas (15) de reducción inyectada en la etapa (E4) de reducción corresponde a una cantidad comprendida entre 0,05 moles y 2 moles de reactivos por mol de óxidos de hierro III presente en la arcilla calcinada.
- 65
14. Método (14) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la arcilla contiene caolinita.

ES 2 998 034 T3

15. Método (14) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la temperatura de calcinación en la etapa (E3) de calcinación es inferior a 950 °C.
 16. Utilización de un método (14) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para producir arcilla calcinada destinada a la producción de cemento.
- 5



14

Figura 2

