

PRODUCCIÓN CEMENTERA A PARTIR DE MATERIAL NO CALCÁREO

[0001] La presente solicitud reivindica la prioridad de la solicitud provisional de patente de EE. UU. n.º 63/173 703, presentada el 12 de abril de 2021; la solicitud provisional de patente de EE. UU. n.º 63/240 319, presentada el 2 de septiembre de 2021; y la solicitud provisional de patente de EE. UU. n.º 63/279 596, presentada el 15 de noviembre de 2021, todas las cuales se incorporan al presente documento mediante referencia.

ANTECEDENTES

[0002] El cemento, y los productos del cemento, son una necesidad en la vida moderna y básicamente con ellos se construye la totalidad de la infraestructura humana. El tipo de cemento más común es el cemento de Pórtland común, que se utiliza en la producción de hormigón, mortero, estuco, lechadas no especializadas y muchas otras cosas. Por muy necesario que sea el cemento para nosotros, hay muchos inconvenientes a los que tenemos que enfrentarnos regularmente debido a su producción. El cemento de Pórtland es tóxico; requiere un elevado consumo de energía para extraer las materias primas, fabricarlo y transportarlo. Además, la producción de cemento de Pórtland también libera una cantidad significativa de gases de efecto invernadero, ya que la producción de cemento de Pórtland contribuye al 8 % de las emisiones mundiales de dióxido de carbono. Además, la Agencia Interna de la Energía (AIE) ha calculado que la producción de cemento aumentará entre un 12 % y un 23 % de aquí a 2050.

[0003] Así pues, en el campo de la producción de cemento es necesario crear un método nuevo, útil y más respetuoso con el medio ambiente.

INCORPORACIÓN MEDIANTE REFERENCIA

[0004] Todas las publicaciones, patentes y solicitudes de patentes mencionadas en la presente memoria descriptiva se incorporan al presente documento mediante referencia en la misma medida que si se indicara de manera individual y específica la incorporación mediante referencia de cada publicación, patente o solicitud de patente individual.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[0005] En la **FIGURA 1** se muestra un diagrama de flujo de un primer método.

[0006] En la **FIGURA 2** se muestra un diagrama de flujo de un segundo método.

[0007] En la **FIGURA 3** se muestra un método para producir una fracción líquida rica en calcio y una fracción sólida pobre en calcio a partir de material no calcáreo.

[0008] En la **FIGURA 4** se muestra un método para producir SCM a partir de una fracción sólida pobre en calcio.

[0009] En la **FIGURA 5** se muestra tres métodos diferentes para precipitar aluminio, hierro y/o magnesio a partir de una fracción líquida rica en calcio.

5 **[0010]** En la **FIGURA 6** se muestra un método para producir un sólido declorado que comprende calcio a partir de un sólido que comprende cloruro de calcio.

[0011] En la **FIGURA 7** se muestra un método de producción de clínker a partir de un sólido declorado que comprende calcio

10 **[0012]** En la **FIGURA 8** se muestra un aparato para producir clínker a partir de material inicial no calcáreo, que comprende un primer procesador y un segundo procesador.

[0013] En la **FIGURA 9** se muestra una modalidad del primer procesador de la Figura 8.

[0014] En la **FIGURA 10** se muestra una modalidad del segundo procesador de la Figura 8.

15 **[0015]** En la **FIGURA 11** se muestra un sistema y un método para producir material cementicio complementario (SCM, por su sigla en inglés) y clínker, p. ej., clínker para OPC, a partir de materiales no calcáreos, p. ej., roca, mediante el uso únicamente de una unidad/etapa de precipitación de base.

[0016] En la **FIGURA 12** se muestra un sistema y un método para producir material cementicio complementario (SCM) y clínker, p. ej., clínker para OPC, a partir de materiales no calcáreos, p. ej., roca, mediante el uso de al menos una unidad/etapa de precipitación con pirohidrólisis y una unidad/etapa de precipitación de base.

20 **[0017]** En la **FIGURA 13** se muestra un ejemplo de modalidad de un sistema para producir clínker, p. ej., clínker para OPC.

[0018] En la **FIGURA 14** se muestra una micrografía óptica de una muestra de clínker obtenida en un procedimiento del Ejemplo 4.

[0019] En la **FIGURA 15** se muestra el procedimiento del Ejemplo 5.

25

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0020] No se pretende que la descripción de modalidades de la invención que sigue limite la invención a estas modalidades, sino más bien permitir a la persona experta en la técnica realizar y utilizar esta invención.

30

1. Visión general

[0021] Se presentan métodos y aparatos para la extracción de precursores de cemento y minerales a partir de un material no calcáreo que comprende elementos de calcio y silicio. Un método puede comprender: disolver y separar el material no calcáreo en una fracción rica en calcio y una

fracción pobre en calcio (a la que también se hace referencia en el presente documento como «fracción sin calcio») mediante el uso de agentes de lixiviación; convertir la fracción pobre en calcio en puzolana y/u otros compuestos precursores del cemento; extraer compuestos de calcio de la fracción rica en calcio; y regenerar los agentes de lixiviación. Tal como se usa en el presente documento, «fracción rica en calcio» incluye una fracción, generalmente líquida, que se produce, p. ej., al disolver material no calcáreo con un agente de lixiviación tal como un ácido, p. ej., HCl; como será evidente, la fracción puede someterse a una o más etapas adicionales para, p. ej., eliminar determinados materiales; aun así, se puede hacer referencia al material resultante, generalmente con cantidades más bajas de uno o más de los materiales determinados, o alterado de otro modo, como «la fracción rica en calcio». Normalmente, la «fracción rica en calcio» continúa en el proceso hasta su deshidratación para producir un sólido, tal como un sólido que comprenda cloruro de calcio, p. ej., en modalidades en las que HCl es el agente de lixiviación. Dependiendo de la composición del material no calcáreo, el método puede incluir la extracción de otros minerales (p. ej., mediante precipitación y/o descomposición térmica o pirohidólisis). El método funciona como un proceso de extracción y producción multipropósito, donde el método permite la extracción de material precursor del cemento (p. ej., SCM, cal, clínker, etc.) además de la extracción de elementos potencialmente valiosos (p. ej., aluminio, hierro, magnesio, etc.). Tal como se usa en el presente documento, el término «clínker» incluye clínker de cemento, tal como clínker de cemento de Pórtland, a menos que se indique lo contrario. Además, el método puede habilitarse para la producción de cemento (p. ej., cemento de Pórtland común). En estas variaciones, el método puede incluir además la conversión de los compuestos de calcio en cemento (p. ej., mediante un proceso de clinkerización o sinterización).

[0022] El método puede ser particularmente útil en el campo de la excavación de minerales y la producción de hormigón. El método puede aplicarse durante o después de la excavación de minerales para producir/extraer recursos adicionales. Con este método es posible extraer y producir cemento y materiales precursores del cemento. En una aplicación de excavación de minerales, la roca no calcárea puede haber sido excavada y procesada anteriormente de forma tal que se hayan eliminado los minerales de la roca. A continuación, el método puede aplicarse para extraer potencialmente otros minerales y producir productos de cemento.

[0023] El método también puede ser particularmente útil para el propósito general de la producción de cemento. La producción de cemento a partir de roca no calcárea puede contribuir a que la producción de cemento sea más respetuosa con el medio ambiente.

[0024] El método puede proporcionar una serie de beneficios potenciales. El método no se limita a proporcionar siempre esos beneficios, y se presenta únicamente en ejemplos de representaciones

de cómo puede ponerse en práctica el método. No se pretende que la lista de beneficios sea exhaustiva, sino que pueden existir otros beneficios de manera adicional o alternativa.

[0025] El método tiene la ventaja potencial de permitir una producción de cemento más respetuosa con el medio ambiente. Actualmente, la forma más común de producir cemento es calentar piedra caliza para producir cal y dióxido de carbono. La producción de cemento sin piedra caliza permite reducir drásticamente las emisiones de dióxido de carbono.

[0026] El método proporciona potencialmente nuevos recursos para la producción de cemento. Sin la necesidad de piedra caliza, la producción de cemento puede ampliarse a muchas más regiones del mundo.

[0027] Además, el método puede ofrecer la ventaja de simplificar la producción de hormigón. La producción de hormigón suele requerir cemento de Pórtland común (OPC, por su sigla en inglés), material cementicio complementario (SCM) y áridos. En la actualidad, los productores de hormigón tienen que recurrir a distintas fuentes para obtener OPC y SCM. El método puede permitir la extracción de SCM y la producción de OPC a partir de la misma fuente, p. ej., material inicial. Además, el método puede permitir la extracción de SCM y la producción de OPC y áridos a partir de la misma fuente. Esto puede simplificar significativamente el proceso de producción de hormigón y reducir potencialmente su coste. Por lo tanto, en el presente documento se proporciona un método para producir hormigón a partir de cemento de Pórtland y un SCM, p. ej., una puzolana, donde el cemento de Pórtland y el SCM, p. ej., puzolana, derivan de la misma fuente, p. ej., los mismos materiales no calcáreos, tales como minerales y/o rocas de carácter no calcáreo. En determinadas modalidades, en el presente documento se proporciona un método para producir hormigón a partir de cemento de Pórtland, un SCM, p. ej., una puzolana, y árido, donde el cemento de Pórtland, el SCM, p. ej., puzolana, y los áridos, derivan de la misma fuente, p. ej., los mismos materiales no calcáreos, tales como minerales y/o rocas de carácter no calcáreo. En determinadas modalidades se proporciona un sistema para producir hormigón, donde el hormigón comprende cemento de Pórtland y SCM, p. ej., puzolana, donde el cemento de Pórtland se produce en un aparato productor de cemento, tal como un aparato descrito en el presente documento, a partir de materiales no calcáreos, tales como minerales y/o rocas de carácter no calcáreo; y el SCM se produce en un aparato productor de SCM, tal como un aparato descrito en el presente documento, a partir de materiales no calcáreos, tales como minerales y/o rocas de carácter no calcáreo; donde el aparato productor de cemento, el aparato productor de SCM y los materiales no calcáreos, p. ej., minerales y/o rocas de carácter no calcáreo, se encuentran todos en una misma ubicación, tal como una ubicación en la que los minerales y/o las rocas de carácter no calcáreo se extraen de una fuente. En determinadas modalidades, el aparato productor de cemento y el aparato productor de SCM son el

5 mismo aparato. El hormigón puede comprender además áridos, y el sistema puede comprender además un aparato productor de áridos, tal como un aparato que comprenda una trituradora, una molidora y tamices, para producir áridos a partir del material no calcáreo, p. ej., minerales y/o rocas de carácter no calcáreo, donde el aparato productor de áridos se encuentra en el mismo sitio que
 10 los aparatos productores de cemento y de SCM. La misma ubicación puede ser tal que, p. ej., los diversos aparatos estén todos dentro de un radio de 10, 5, 1 o 0,5 millas, por ejemplo, dentro de un radio de 1 milla o incluso un radio de 0,5 millas; una fuente de material no calcáreo, p. ej., los minerales y/o las rocas de carácter no calcáreo que se extraigan, también puede estar dentro del radio, o puede estar más lejos, pero en cualquier caso a no más de 10, 5, 4, 3, 2 o 1 milla de la
 15 ubicación, p. ej., a no más de 2 millas de distancia.

[0028] El método puede proporcionar además el beneficio potencial de una mayor utilidad del material que se añade para ser convertido en hormigón. Es decir, además de permitir la producción de hormigón, el método puede proporcionar el beneficio de la extracción de minerales más allá de los destinados a la producción de hormigón (p. ej., también pueden extraerse metales, tales como
 20 aluminio y hierro, para su uso o venta).

[0029] Además, para el beneficio de la extracción de minerales más allá del uso para la producción de hormigón, el método proporciona potencialmente el beneficio de la purificación eficiente de minerales (p. ej., la purificación de metales tales como aluminio y hierro) junto con la extracción de material de cemento.

20 **[0030]** Para determinadas variaciones, el método puede proporcionar además el beneficio potencial de la extracción de SCM de alta pureza (p. ej., micro o nanosílice o humo de sílice). Es decir, en variaciones en las que la sílice extraída no se reutiliza para la producción de una base de calcio para, p. ej., la extracción de metales (p. ej., en variaciones en las que el aluminio y el hierro se extraen mediante descomposición térmica), se pueden conservar grandes cantidades de sílice
 25 extraída en una forma más pura.

[0031] El método puede ofrecer la ventaja de una mayor eficiencia energética en la extracción de cemento y otros minerales. En algunas variaciones, el método puede incorporar el uso de recompresión mecánica de vapor para reciclar el calor latente para la evaporación de agua u otro calentamiento eléctrico o la reincorporación de calor a partir de otras etapas de reacción para reducir
 30 el consumo de energía (especialmente la energía no eléctrica).

[0032] Tal como se muestra en la **FIGURA 1**, un método para la extracción de precursores de cemento y minerales a partir de materiales iniciales no calcáreos comprende: obtener un material no calcáreo S110, donde el material no calcáreo comprende un material que incluye los elementos, calcio y, opcionalmente, silicio; crear fracciones ricas en calcio y pobres en calcio a partir del material

no calcáreo S130, lo que comprende disolver al menos los compuestos de calcio, mediante lo cual se crea una fracción rica en calcio y una fracción pobre en calcio del material no calcáreo, donde la disolución del material no calcáreo incluye la adición de al menos un agente de lixiviación S132; separar la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140, donde la fracción pobre en calcio puede comprender una puzolana; separar los compuestos que contienen calcio (p. ej., para producir un sólido que comprenda cloruro de calcio, en el caso de las modalidades en las que HCl es el agente de lixiviación) de la fracción rica en calcio S150; descomponer opcionalmente los compuestos de calcio (p. ej., declorar un sólido que comprenda cloruro de calcio para producir un sólido declorado que comprenda calcio, y, opcionalmente, clinkerizar el sólido declorado que comprenda calcio) S160; y regenerar opcionalmente los agentes de lixiviación S170.

[0033] El método sirve para extraer puzolanas (a lo que también se hace referencia como «material cementicio complementario» (SCM)) y/u otros materiales precursores del cemento (p. ej., clínker, cal, cal apagada, silicato tricálcico, silicato dicálcico y carbonato de calcio), compuestos de magnesio y metales a partir de material no calcáreo. Dependiendo de la implementación y del tipo de material no calcáreo, el método puede tener múltiples variaciones donde el método puede modificarse con respecto a las entradas (es decir, los tipos de material no calcáreo) y/o salidas (es decir, materiales de cemento y metales) deseadas. Por lo tanto, además de tener etapas adicionales/alternativas, dependiendo de la implementación, las etapas del método pueden omitirse, repetirse o variarse según lo requiera la implementación. El método puede ser particularmente útil para procesar rocas de silicato cálcico, pero puede implementarse con cualquier material no calcáreo que contenga silicio y/o calcio.

[0034] En una modalidad modificada, el método puede utilizarse para la producción de cemento. En esta modalidad, tal como se muestra en la **FIGURA 2**, un método para la producción de cemento y la producción de precursores de cemento incluye: obtener un material no calcáreo S110, donde el material no calcáreo comprende materiales que incluyen los elementos, calcio y, opcionalmente, silicio; crear fracciones ricas en calcio y pobres en calcio a partir del material no calcáreo S130, lo que comprende disolver al menos los compuestos de calcio, mediante lo cual se crea una fracción rica en calcio y una fracción pobre en calcio del material no calcáreo, donde la disolución del material no calcáreo incluye la adición de al menos un agente de lixiviación S132; separar la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140, donde la fracción pobre en calcio puede comprender una puzolana; separar los compuestos que contienen calcio de la fracción rica en calcio S150 (p. ej., para producir un sólido que comprenda cloruro de calcio, en el caso de las modalidades en las que HCl es el agente de lixiviación); descomponer opcionalmente los compuestos de calcio (p. ej., declorar un sólido que comprenda cloruro de calcio para producir un sólido declorado que

comprenda calcio, y, opcionalmente, clinkerizar el sólido declorado que comprenda calcio) S160; regenerar opcionalmente los agentes de lixiviación S170; y donde la descomposición incluye un producto de compuesto de calcio, producir clínker o cemento a partir del producto de compuesto de calcio S180.

5 **[0035]** Este método sirve para extraer material cementicio complementario (SCM) y/u otros materiales precursores del cemento (p. ej., clínker, silicato tricálcico, silicato dicálcico, cal o cal apagada), y metales a partir de material no calcáreo, y convertir, opcionalmente, los materiales precursores del cemento en cemento. Dependiendo de la implementación y del tipo de material no calcáreo, el método puede tener múltiples variaciones donde el método puede modificarse con
10 respecto a las entradas (es decir, los tipos de material no calcáreo) y/o salidas (es decir, los tipos de cemento y metales) deseadas. Por lo tanto, además de tener etapas adicionales/alternativas, dependiendo de la implementación, las etapas del método pueden omitirse, repetirse o variarse según lo requiera la implementación. El método puede ser particularmente útil para procesar rocas de silicato cálcico, pero puede implementarse con cualquier material no calcáreo que contenga silicio
15 y calcio. El método puede ser particularmente útil para la producción de clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland común (OPC) y puede implementarse para la producción de tipos de cemento de Pórtland (p. ej., cemento de Pórtland de tipo 1, cemento de Pórtland de tipo 2, cemento de Pórtland de tipo 3, cemento de Pórtland de tipo 4, o cemento de Pórtland de tipo 5, o tipos equivalentes), o más generalmente, otros tipos de cemento y material cementicio (p. ej., cal, cal
20 apagada, morteros, cenizas volantes, escoria, silicato tricálcico, silicato dicálcico, y humo de sílice). De manera adicional o alternativa, el método puede permitir la producción de cualquier compuesto que comprenda sílice amorfa, óxido de calcio (CaO) y/u óxido de magnesio (MgO) como materiales iniciales.

[0036] En algunas variaciones, el método puede incluir etapas adicionales o alternativas. Otras
25 etapas pueden estar relacionadas con el procesamiento de materiales, la regeneración de compuestos, el procesamiento de residuos y/o la mejora de otras reacciones. Es posible incorporar etapas adicionales/alternativas para la implementación deseada. Los ejemplos de etapas adicionales/alternativas incluyen: electrolizar un reactivo/material, descomponer térmicamente o pirohidrolizar un reactivo/material o la solución, precipitar un reactivo/material, aplicar un proceso de
30 contacto y sintetizar un reactivo/material, mediante la electrólisis del agua para generar tanto un ácido como una base o solamente el ácido o la base para la disolución de la roca inicial y/o el aislamiento de las especies de calcio. En muchas variaciones, el método puede incluir una etapa de enriquecimiento en calcio. Es decir, el método puede incluir: enriquecer el material no calcáreo S120, mediante lo cual se crea un material que tiene una mayor concentración de calcio en comparación

con el material original. En muchas variaciones, el método puede implementar además una etapa de captura/secuestro de carbono. Es decir, el método puede incluir además: la depuración de los gases de combustión.

5

Materiales iniciales

[0037] El bloque S110, que incluye la obtención de material no calcáreo, funciona en la obtención de un material inicial para el proceso. La obtención del material no calcáreo S110 puede comprender cualquier proceso general para obtener el material no calcáreo, p. ej., excavar, comprar, encontrar, recibir, etc., el material no calcáreo.

[0038] En general, es posible utilizar cualquier material inicial adecuado, siempre y cuando comprenda calcio en cantidad suficiente para proporcionar un producto final deseado, p. ej., clínker o cemento, tal como el cemento de Pórtland final. Si se utiliza un proceso que también produce material cementicio complementario (SCM), el material inicial también contendrá uno o más compuestos que pueden proporcionar un material final que comprenda compuestos amorfos (no cristalinos) que puedan servir como SCM. Estos pueden incluir sílice amorfa, en cuyo caso el material inicial también comprenderá silicio. Sin embargo, otras sustancias pueden proporcionar compuestos amorfos que sirvan como SCM, tales como compuestos amorfos de hierro y alúmina, como se sabe en la técnica; en estos casos, el material inicial incluye los elementos iniciales requeridos. En determinadas modalidades en las que se produce clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland, y SCM, el material inicial comprende mineral y/o roca de carácter no calcáreo que comprende calcio y silicio, tal como una roca y/o un mineral que comprende silicato de calcio. Se puede utilizar cualquier roca y/o mineral adecuado, tal como basalto, gabro, piroxenitas, anortositas, skarns y/o anfibolita, o una combinación de estas opciones.

[0039] En determinadas modalidades, se utiliza un material no calcáreo. Tal como se usa en el presente documento, «material no calcáreo» incluye materiales que contienen bajas cantidades de carbonato de calcio (p. ej., piedra caliza), tales como carbonato de calcio a menos del 10 %; por lo general, se prefieren cantidades menores de carbonato de calcio para evitar producir dióxido de carbono en diversas etapas; sin embargo, muchos materiales, tales como minerales y/o rocas de carácter no calcáreo, pueden contener cierta cantidad de carbonato de calcio y ser adecuados para el uso en los procesos y aparatos descritos en el presente documento. Los materiales no calcáreos pueden ser rocas y/o minerales, o residuos industriales, o combinaciones de estos. El material no calcáreo comprende calcio y, por lo general, silicio. Los materiales iniciales no calcáreos preferidos comprenden al menos un 10 % de calcio, más preferiblemente al menos un 15 % de calcio, incluso

más preferiblemente al menos un 25 % de calcio. Los materiales iniciales preferidos comprenden menos de un 30, 25, 20, 15, 10, 5, 2 o 1 % de carbonato de calcio, tal como menos de un 10 % o menos de un 5 %.

[0040] En algunas variantes, el material no calcáreo comprende roca de silicato, pero en general puede comprender cualquier material o materiales no calcáreos, donde los materiales contienen juntos calcio y, opcionalmente, silicio. El material no calcáreo puede encontrarse/elegirse para incluir adicionalmente cualquier conjunto de compuestos deseados (y/o compuestos desconocidos). Además de calcio y, opcionalmente, silicio, el material no calcáreo puede incluir otros minerales y/o compuestos. Los ejemplos incluyen compuestos de calcio (p. ej., óxido de calcio), compuestos de magnesio (p. ej., óxido de magnesio), compuestos de aluminio (p. ej., óxido de aluminio), compuestos de hierro (p. ej., óxido de hierro(II), óxido de hierro(III)), silicatos (p. ej., dióxido de silicio) y compuestos de carbono (p. ej., dióxido de carbono). Los ejemplos de rocas de silicato: anortositas, skarns, gabros, piroxenitas, mafuritas, basaltos, skarns de cobre, skarns de tungsteno, cenizas volantes, escorias, cemento viejo, hormigón, roca de cantera y relaves. Los ejemplos de otras rocas pueden incluir: rocas máficas y ultramáficas. Más generalmente, las rocas y/o los minerales no calcáreos adecuados incluyen basalto, apatitas ígneas, wollastonita, anortosita, montmorillonita, bentonita, feldespato que contiene calcio, anortita, diópsido, piroxeno, piroxenita, mafurita, kamafurita, clinopiroxeno, colemonita, grosularia, augita, pigeonita, margarita, serpentina cálcica, granate, scheilita, skarn, caliza, yeso natural, apatita, fluorapatita, o cualquier combinación de estas opciones. Otras rocas y/o minerales adecuados serán evidentes para las personas expertas en la técnica. El material no calcáreo también puede comprender uno o más productos industriales, p. ej., uno o más residuos industriales.

[0041] En algunas variaciones, la obtención de material no calcáreo S110 puede incluir la obtención de material procesado o parcialmente procesado. Es decir, el material no calcáreo puede haberse obtenido y procesado inicialmente por algún otro motivo y luego haberse transferido a este proceso (p. ej., para la extracción de sal). En las variantes que incluyen material no calcáreo procesado, o parcialmente procesado, es posible añadir u omitir etapas del método en función del contenido de material no calcáreo. Por ejemplo, en un ejemplo donde ya se han extraído algunos metales, las etapas de separación (p. ej., precipitación) y descomposición (p. ej., descomposición térmica) pueden modificarse u omitirse. En otro ejemplo, se puede añadir una etapa de enriquecimiento (p. ej., enriquecimiento del material no calcáreo S120) para utilizar un material no calcáreo bastante vaciado.

[0042] En algunas variaciones, el método puede incluir el bloque S120, con enriquecimiento del material no calcáreo. El enriquecimiento del material no calcáreo sirve para aumentar la

concentración de calcio del material no calcáreo. Esto puede ser particularmente útil en rocas previamente procesadas, en las que se han extraído minerales o compuestos. Por ejemplo, la flotación, la separación magnética y otros métodos de separación física y química pueden utilizarse para eliminar las fracciones pobres en calcio de las rocas.

- 5 **[0043]** El material no calcáreo, p. ej., roca y/o mineral, puede procesarse para proporcionar partículas en un intervalo de tamaños deseado. Es posible utilizar cualquier proceso o procesos adecuados, tales como la trituración, la molienda y/o el fresado y el tamizado o similares. Los intervalos de tamaños adecuados incluyen 1-500u, 5-300u, 10-200u, 20-130u, 45-90u, o una combinación de estos. En una modalidad preferida, el intervalo de tamaños es de 20-130u. En una
10 modalidad más preferida, el intervalo de tamaños es de 45-90u.

Producción de fracciones ricas en calcio y pobres en calcio

- [0044]** El bloque S130, que incluye la creación de fracciones ricas en calcio y pobres en calcio a partir del material no calcáreo, sirve para descomponer el material no calcáreo para separar los
15 compuestos de calcio de los compuestos no cálcicos, p. ej., SCM. El bloque S130 puede incluir la disolución del material no calcáreo que comprende la disolución de al menos los compuestos de calcio dentro del material no calcáreo, mediante lo cual se crea una fracción rica en calcio y una fracción pobre en calcio. De esta manera, la disolución del material no calcáreo S130 puede disolver parcialmente el material no calcáreo de forma tal que la sílice y los compuestos de sílice
20 permanezcan en estado sólido mientras que otros compuestos (p. ej., unidos al calcio) se disuelven.

- [0045]** La disolución del material no calcáreo S130 puede incluir la adición de un agente de lixiviación S132. El agente de lixiviación puede comprender un único compuesto, múltiples compuestos y/o una serie de compuestos. En determinadas modalidades, el agente de lixiviación comprende un único compuesto, p. ej., HCl. El agente de lixiviación puede funcionar, al menos
25 parcialmente, en la disolución del material no calcáreo. El agente de lixiviación puede ser agua, sales metálicas, ácidos y/u oxidantes. Generalmente, el agente de lixiviación puede tener la limitante de disolver compuestos de calcio en el material no calcáreo. En algunas variantes, el agente de lixiviación comprende uno o más compuestos reponibles.

- [0046]** En un ejemplo, el agente de lixiviación es un ácido, es decir, un primer ácido. En
30 determinadas modalidades, solamente se usa un ácido, p. ej., solamente se usa HCl. El primer ácido sirve para disolver los compuestos de calcio del material no calcáreo. Además, el primer ácido puede disolver los compuestos sin silicato del material (p. ej., metales y sales), mediante lo cual se crea una fracción sólida pobre en calcio, p. ej., una fracción sólida a base de silicatos y una fracción líquida a base de minerales (fracción líquida rica en calcio). De manera alternativa, el primer ácido

puede disolver el material de silicato. El primer ácido es preferiblemente un ácido fuerte, pero puede comprender de manera alternativa un ácido débil o protones generados en un ánodo, incluso a partir de la división del agua. En una variación, el primer ácido comprende ácido clorhídrico (HCl). En una variación, el primer ácido consiste esencialmente en HCl. En otra variación, el primer ácido comprende ácido yodhídrico (HI). Los ejemplos de otros primeros ácidos pueden incluir: ácido bromhídrico, ácido nítrico y ion hidronio producido mediante electrólisis del agua. En una variación, el HCl puede disolver metales en el material no calcáreo, creando una fracción líquida rica en metales (fracción líquida rica en calcio).

[0047] En determinadas modalidades, el material no calcáreo, p. ej., material rocoso y/o mineral, se pone en contacto con un ácido fuerte para formar una pulpa que comprenda el ácido y las rocas y/o minerales. Se puede utilizar cualquier ácido fuerte adecuado, tal como HCl, HBr, HI, H_2SO_4 o HNO_3 . En determinadas modalidades, el ácido fuerte comprende HCl; HCl puede ser el único ácido fuerte utilizado en el procedimiento. Se apreciará que, en general, en esas modalidades, se pueden utilizar otros ácidos para funciones no esenciales, tales como la limpieza de equipos y similares, pero el ácido utilizado para disolver los materiales no calcáreos es el HCl. El HCl es particularmente útil porque produce cloruros, p. ej., cloruros de calcio, que son materiales iniciales útiles para otras etapas del proceso. El HCl también se presta a una regeneración relativamente sencilla en uno o más puntos del proceso. Por conveniencia, el resto del proceso se describirá en cuanto al HCl; como será evidente para la persona experta en la técnica, si se utiliza otro ácido además o como alternativa al HCl, se pueden realizar los ajustes adecuados para adaptarse al ácido adicional/alternativo.

[0048] El material no calcáreo, p. ej., rocas y/o minerales tales como el material de roca de silicato, se disuelve en el ácido clorhídrico (HCl). En determinadas modalidades, la proporción de ácido fuerte que comprende HCl es de al menos 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 o 99 % del ácido fuerte. En determinadas modalidades, el 100 % del ácido fuerte es HCl. Se puede utilizar cualquier concentración adecuada de HCl, tal como 5-40 %, 10-37 %, 10-30 %, 15-35 %, 17-23 %, 20-30 %, o alrededor de o exactamente 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 o 30 %, tal como alrededor de o exactamente 20 %. En modalidades preferidas, el HCl constituye el 10-37 %. En modalidades incluso más preferidas, el HCl constituye el 15-35 %. La relación de material inicial, tal como roca sólida y/o mineral, con respecto al agente de lixiviación, tal como líquido, por ejemplo, ácido, en la pulpa inicial puede ser cualquier relación adecuada; se apreciará que parte de la roca sólida y/o el mineral comenzará a disolverse en el ácido inmediatamente y que estas relaciones cambiarán a medida que el sólido se disuelva en la solución. Las relaciones iniciales adecuadas pueden oscilar entre 5 % de sólido/95 % de líquido y 40 % de sólido/60 % de líquido, tal como 10 % de sólido/90 % de líquido y 30 % de sólido/70 % de líquido; en una modalidad preferida, 15 % de

sólido/85 % de líquido y 25 % de sólido/75 % de líquido, tal como 20 % de sólido/80 % de líquido.

[0049] La pulpa se trata para provocar la disolución de al menos una cantidad suficiente de compuestos de calcio en el material no calcáreo, p. ej., rocas y/o minerales, para que entren en solución y proporcionen un producto final satisfactorio, p. ej., para convertirlo en clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland. En determinadas modalidades, al menos el 50, 60, 70, 80, 90, 95 % o 100 % del calcio en el material inicial entra en solución, preferiblemente al menos el 70 %, más preferiblemente al menos el 80 %, incluso más preferiblemente al menos el 90 %. El tratamiento puede producirse en un proceso abierto a la atmósfera, o al menos no presurizado. El tratamiento puede incluir el calentamiento y/o mantenimiento de la pulpa en una temperatura o un intervalo de temperaturas durante un tiempo determinado. En general, se puede utilizar la duración del tratamiento y/o la temperatura para proporcionar la disolución deseada. Los intervalos de temperatura adecuados en los que se mantiene la pulpa incluyen 60-115 °C, 80-115 °C, 90-115 °C, 100-115 °C, 60-112 °C, 80-112 °C, 90-112 °C, 100-112 °C, 60-110 °C, 80-110 °C, 90-110 °C o 100-110 °C; se apreciará que, debido a la presencia de una alta concentración de HCL y también a que el material se disuelve en la fase líquida, la temperatura de ebullición de la solución de HCl puede ser superior a 100 °C. Por lo tanto, en determinadas modalidades, la temperatura es de al menos 95, 96, 97, 98, 99 o 100 °C; en modalidades preferidas, la temperatura es de al menos 90 °C; en modalidades más preferidas la temperatura es de al menos 95 °C; en modalidades aún más preferidas, la temperatura es de al menos 98 °C; y en modalidades incluso más preferidas la temperatura es de al menos 100 °C. En determinadas modalidades, la temperatura máxima es 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114 o 115 °C; en una modalidad preferida la temperatura máxima es 105 °C; en una modalidad más preferida, la temperatura máxima es 108 °C; en una modalidad aún más preferida, la temperatura máxima es 110 °C. En determinadas modalidades, la temperatura es llevada y/o mantenida a 100-115 °C. En determinadas modalidades, la temperatura es llevada y/o mantenida a 100-110 °C. En determinadas modalidades, la temperatura es llevada y/o mantenida a 100-115 °C. Puede utilizarse cualquier duración adecuada del tratamiento. Esto puede depender, en cierta medida, del contenido de calcio del material inicial, p. ej., mineral y/o roca de carácter no calcáreo; los materiales con menor contenido de calcio pueden requerir un tratamiento más prolongado para alcanzar la cantidad deseada de sales de calcio en solución. Por lo tanto, la duración del tratamiento puede ser de al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 o 10 horas y/o no más de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 20, 24, 30, 36, 40, 48, 60 o 72 horas. En determinadas modalidades, la duración puede ser de 2-24 horas, por ejemplo, 4-18 horas o incluso 4-12 horas o menos. En determinadas modalidades, la duración puede ser de 6-72 horas, tal como 4-48 horas, o 4-36 horas, o 4-24 horas. La pulpa puede ser agitada durante el tratamiento, por ejemplo, agitarse

a 10-1000 RPM, 20-800 RPM, 50-500 RPM, 50-400 RPM o 100-300 RPM. En modalidades preferidas, la pulpa se agita a 50-400 RPM, más preferiblemente a 100-300 RPM. Se pueden utilizar otros métodos de agitación conocidos en la técnica. A partir de la pulpa se produce una fracción pobre en calcio (sólida) y una fracción rica en calcio (líquida). Parte del ácido, p. ej., HCl, puede pasar a la fase gaseosa o de vapor durante el proceso, y puede ser recapturada y devuelta para su uso como agente de lixiviación.

[0050] En algunas variaciones, la adición de un primer ácido puede comprender la adición de un ácido orgánico o biogénico (p. ej., ácido oxálico). La adición de un primer ácido orgánico puede lixiviar selectivamente el material no calcáreo, lo cual permite la extracción selectiva de metales. Los ejemplos de ácidos orgánicos que pueden incorporarse incluyen: ácido propiónico, ácido butírico, ácido cítrico, ácido succínico, ácido málico, ácido tartárico y ácido oxálico. En un ejemplo, el primer ácido orgánico puede lixiviar selectivamente todos los minerales del material no calcáreo (p. ej., mediante descomposición térmica). En otro ejemplo, el primer ácido orgánico puede lixiviar selectivamente todos los minerales, excepto el calcio del material no calcáreo.

[0051] En algunas variaciones, se pueden implementar microbios para producir el primer ácido orgánico. Los microbios pueden ser diseñados para producir ácidos orgánicos mediante la utilización de CO₂ como fuente de carbono y, por lo tanto, el CO₂ producido mediante la descomposición del ácido orgánico en etapas posteriores puede reciclarse o mitigarse al suministrar este CO₂ a los microbios.

Separación de la fracción rica en calcio de la fracción pobre en calcio

[0052] El bloque S140, que incluye la separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio, sirve para separar las fracciones sólida y líquida producidas a partir del material no calcáreo. En muchas variantes, la fracción pobre en calcio comprende puzolana. En algunas variantes donde se añade un primer agente de lixiviación ácido (p. ej., un primer ácido HCl), esto comprendería separar la roca de silicato de la fracción sólida (fracción pobre en calcio) de la fracción líquida disuelta (fracción rica en calcio), mediante lo cual se extrae SCM de los metales en el material no calcáreo. Es posible aplicar cualquier método de separación adecuado. En algunas variaciones, el bloque S130 puede incluir además secar la fracción sólida separada (p. ej., secar el SCM). Los ácidos adicionales o alternativos al HCl podrían incluir HBr, HI, HNO₃ o cualquier ácido que cree una sal de calcio soluble.

[0053] En muchas variaciones, la separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140 tiene lugar después de algunas y/o todas las partes del bloque S130. En algunas variantes, la separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140 puede

producirse antes de, o en simultáneo con, la disolución del material no calcáreo. Esto puede producirse mecánicamente (p. ej., mediante la separación física de los componentes de molienda, la separación mediante densidad, etc.) y/o la separación electrostática del contenido rico en calcio del contenido pobre en calcio antes de la disolución del material no calcáreo.

- 5 **[0054]** En algunas variantes, la separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140 se realiza mediante la filtración del material no calcáreo. La filtración puede utilizarse para separar fragmentos sólidos y líquidos. En una implementación, se utiliza la filtración al vacío, donde se utiliza una diferencia de presión para hacer fluir el fluido a través de un filtro. En otra implementación, se utiliza la filtración en caliente, donde la solución se calienta y luego se hace
10 pasar a través de un filtro. En otra implementación, se utiliza la filtración en frío, donde la solución se enfría inicialmente para cristalizar componentes adicionales (p. ej., SCM) y luego se filtra.

- [0055]** En algunas variantes, se implementa una prensa de filtración para separar la fracción sólida. La prensa de filtro puede permitir apilar múltiples elementos de filtración y permitir la apertura fácil del filtro para extraer los sólidos filtrados. Una prensa de filtro puede implementarse con
15 cualquier proceso de filtración que se desee tal como se describió anteriormente.

- [0056]** La separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140 puede reducir significativamente el volumen de la fracción líquida. Por lo tanto, antes de que esto ocurra o una vez que ocurra, se puede añadir solución adicional a la fracción rica en calcio para reponer el volumen. Esto puede ocurrir en cualquier etapa de separación y/o precipitación. Se puede añadir
20 solución adicional en cualquier etapa para mantener un volumen de trabajo deseado.

- [0057]** El bloque S150, que incluye la separación de los compuestos de calcio de la fracción rica en calcio, p. ej., mediante la formación de un sólido que comprende cloruro de calcio, sirve para separar los compuestos de calcio del material no calcáreo. Además, el bloque S150 puede incluir la separación de otros compuestos metálicos, que pueden o no formar parte de un compuesto de
25 calcio. El bloque S150 puede ser específico en cuanto a la implementación y puede cambiar en función de las extracciones de metal deseadas y/o del contenido mineral del material no calcáreo. Por ejemplo, en algunas variaciones, la separación de los compuestos de calcio de la fracción rica en calcio S150 incluye la precipitación de los compuestos de calcio a partir de una mezcla líquida o similar a un líquido. Además, el bloque S150 puede depender de etapas previas del método. Por
30 ejemplo, la utilización de HI como primer agente de lixiviación ácido, en comparación con HCl, puede alterar detalles particulares del bloque S150. Generalmente, separar los compuestos de calcio de la fracción rica en calcio S150 puede comprender: alterar las condiciones termodinámicas (p. ej., aumentar o disminuir la temperatura, aumentar o disminuir la presión, aumentar o disminuir las concentraciones de compuestos), añadir un ácido o una base y/o añadir un agente de oxidación o

reducción. En determinadas modalidades, p. ej., en las que el HCl es el ácido, la separación de los compuestos de calcio comprende la deshidratación de la fracción líquida rica en calcio (opcionalmente después del tratamiento de la fracción líquida rica en calcio para eliminar uno o más compuestos no cálcicos) para producir un sólido que comprenda cloruro de calcio.

5

Tratamiento de la fracción rica en calcio

[0058] Por lo tanto, la fracción rica en calcio se somete a un tratamiento adicional; en determinadas modalidades, el resultado final del tratamiento adicional es producir clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y, en general, regenerar el ácido. Además, dependiendo del tratamiento de la fracción rica en calcio, es posible generar determinadas sustancias no cálcicas, tales como sustancias que contengan una o más de los siguientes elementos: hierro, aluminio y/o magnesio. El tratamiento adicional puede depender de la composición probable de la fracción rica en calcio, que a su vez puede depender, al menos en parte, de los materiales iniciales.

[0059] En general, la fracción rica en calcio contendrá sales no cálcicas, a las que también se hacen referencia como «compuestos metálicos», además de sales de calcio, tales como el cloruro de calcio, y los siguientes procedimientos pueden depender de la proporción de sales no cálcicas (compuestos metálicos) con respecto a las sales de calcio, o de la proporción esperada, que puede basarse, al menos en parte, en los materiales iniciales. Si la proporción de una o más sales no cálcicas es, o se espera que sea, superior a un umbral determinado en la fracción rica en calcio, la fracción rica en calcio puede tratarse para eliminar al menos una parte de una o más sales no cálcicas, p. ej., para reducir su nivel en la fracción rica en calcio por debajo del umbral. El umbral puede determinarse, p. ej., en función de la composición deseada del producto final, p. ej., clínker o cemento tal como el cemento de Pórtland. Por ejemplo, determinadas sustancias no cálcicas, tales como los derivados de sales de magnesio, aluminio y/o hierro, pueden permitirse en un clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland, pero solamente por debajo de determinados niveles, dependiendo a menudo del tipo de cemento (p. ej., Tipo 1, 2, 3, 4, o 5) y/o de la norma a cumplir, ya que las normas pueden variar dependiendo de la ubicación geográfica. El umbral puede basarse, al menos en parte, en los niveles esperados de sustancias derivadas de sales no cálcicas, tales como sustancias de aluminio, hierro y/o magnesio, en el clínker o cemento final, p. ej., el producto de cemento de Pórtland después de un tratamiento adicional.

[0060] En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio no se trata para eliminar las sales no cálcicas. Este puede ser el caso si el material inicial es particularmente rico en compuestos de calcio; un ejemplo de material inicial de ese tipo es la wollastonita. En esos casos, el tratamiento de la fracción rica en calcio se dirige generalmente a la eliminación del agua para producir sales sólidas

de calcio, y a un tratamiento posterior para convertir las sales de calcio en el producto final deseado, p. ej., clínker o cemento tal como el cemento de Pórtland. Esos tratamientos se describirán de manera adicional más adelante.

[0061] En determinadas modalidades, se trata la fracción rica en calcio para eliminar una o más sales no cálcicas. Se puede utilizarse cualquier tratamiento o combinación de tratamientos adecuados, siempre y cuando una cantidad suficiente de sales no cálcicas se convierta en una forma que pueda separarse de la fracción rica en calcio, p. ej., se convierta en forma sólida. El tratamiento o la combinación de tratamientos también puede dar lugar a la regeneración de al menos una parte del ácido fuerte original, p. ej., HCl. No es necesario eliminar todas las sales no cálcicas, siempre y cuando la proporción que quede en solución sea inferior a la proporción umbral. En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se eleva y/o se mantiene a una o más temperaturas o intervalos de temperatura para provocar la formación de una o más sustancias insolubles no cálcicas a partir de una o más sales no cálcicas. De manera adicional o alternativa, en determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se trata con una o más sustancias, tales como una o más bases, que causan la formación de una o más sustancias insolubles no cálcicas a partir de una o más sales no cálcicas.

[0062] Por lo tanto, la fracción rica en calcio puede contener sales solubles no cálcicas, tales como sales de Al, Fe y/o Mg, a las que también se puede hacer referencia como «compuestos que contienen metales». La separación de los compuestos que contienen calcio de la fracción rica en calcio S150 incluye la precipitación de los compuestos que contienen metales. En determinadas modalidades, esto comprende un proceso de descomposición térmica de una sola etapa (pirohidrólisis). En determinadas modalidades, esto comprende un proceso de descomposición térmica (pirohidrólisis) de múltiples etapas, tales como un proceso de descomposición térmica (pirohidrólisis) de dos etapas. En determinadas modalidades, esto comprende la adición de una base. En determinadas modalidades, se utiliza una descomposición térmica (pirohidrólisis) de una sola etapa y la adición de base. En determinadas modalidades, se utiliza una descomposición térmica (pirohidrólisis) de dos etapas y la adición de base. En determinadas modalidades, solamente se utiliza la adición de base. En general, al menos parte del ácido fuerte, p. ej., HCl, también se regenera durante el o los procesos.

[0063] En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se eleva y/o se mantiene a una temperatura o un intervalo de temperaturas (descomposición térmica o pirohidrólisis de una sola etapa), lo cual provoca la formación de un conjunto de sustancias insolubles no cálcicas, que pueden eliminarse de la fracción rica en calcio. La temperatura o el intervalo de temperaturas pueden ser aquellos en los que una o más sales no cálcicas, tales como al menos sales de hierro y aluminio,

formen sustancias insolubles, p. ej., sustancias insolubles de hierro y aluminio. Otras sales no cálcicas que pueden formar sustancias insolubles son las sales de boro, litio, rubidio, cesio, estroncio, bario y/o radio. La temperatura puede ser cualquier temperatura o intervalo de temperaturas adecuado, p. ej. al menos 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175 o 180 °C y/o no más de 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190 o 195 °C; en determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se calienta a 140-195 °C; en una modalidad preferida, la fracción rica en calcio se calienta a 140-185 °C; en una modalidad más preferida, la fracción rica en calcio se calienta hasta 160-185 °C, o incluso a 175-185 °C. En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se calienta hasta al menos 1600 °C, por ejemplo, al menos 170 °C, tal como al menos 175 °C, en determinados casos al menos 180 °C. Se puede utilizar cualquier método adecuado para llevar la fracción rica en calcio a la temperatura deseada y/o mantenerla a la temperatura deseada; los métodos para calentar una solución y/o mantenerla a una temperatura o en un intervalo de temperaturas son muy conocidos en la técnica. La solución rica en calcio puede mantenerse a la temperatura deseada o cerca de ella durante un tiempo adecuado, tal como al menos 0, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7 o 10 horas, y/o no más de 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7, 10 o 15 horas. En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se mantiene a la temperatura deseada o cerca de ella durante entre 10 min y 5 horas, tal como de 30 min a 4 horas, en algunos casos de 1 a 3 horas. A medida que la fracción rica en calcio se calienta y/o se mantiene en una temperatura elevada, se expulsa el gas de HCl. Parte o la totalidad de este gas puede capturarse y disolverse en un medio acuoso para regenerar el HCl; en determinadas modalidades, el gas de HCl se captura y se devuelve a un medio acuoso, tal como una solución de HCl que se utiliza, o se utilizará, como agente de lixiviación para el tratamiento de materiales posteriores que comprendan calcio. Las sustancias insolubles generadas por la elevación de la temperatura pueden separarse de la fracción rica en calcio restante mediante cualquier método adecuado, tal como centrifugación, filtración o similares. Las sustancias insolubles pueden incluir uno o más compuestos de aluminio, y/o hierro, tales como óxidos, hidróxidos, oxihidróxidos, silicatos, hidratos de silicato, o fases complejas que contengan cualquiera de Mg, Al, Fe, Ca, y Si, O, y H, por ejemplo, $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 , etc.

[0064] En determinadas modalidades, se utiliza un proceso de descomposición térmica (pirohidrólisis) en dos etapas. Esto ocurre al incorporar en primer lugar una descomposición térmica en dos etapas; primero calentar la mezcla hasta una temperatura o un intervalo de temperaturas de forma tal que las sales de aluminio, p. ej., AlCl_3 , formen sustancias insolubles de aluminio, tales como $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$, etc., pero las sales de hierro, p. ej., FeCl_2 y/o FeCl_3 , no formen sustancias insolubles, tales como $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 , etc., o no formen

considerablemente sustancias insolubles. En determinadas modalidades, la primera temperatura es inferior a 150, preferiblemente inferior a 145, incluso más preferiblemente inferior a 140 °C. En determinadas modalidades, la primera temperatura es de 130-145 °C, 131-144 °C, 132-141 °C, 133-139 °C o 135-137 °C, tal como alrededor de o exactamente 136 °C, o tal como alrededor de 140 °C.

- 5 Se puede utilizar cualquier método adecuado para llevar la fracción rica en calcio a la temperatura deseada y/o mantenerla a la temperatura deseada. La solución rica en calcio puede mantenerse a la temperatura deseada o cerca de ella durante un tiempo adecuado, tal como al menos 0, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7 o 10 horas, y/o no más de 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7, 10 o 15 horas. En determinadas modalidades, la fracción rica en
- 10 calcio se mantiene a la temperatura deseada o cerca de ella durante entre 10 min y 5 horas, tal como de 30 min a 4 horas, en algunos casos de 1 a 3 horas. El proceso produce especies insolubles, p. ej., oxidadas, de aluminio, tales como óxidos, hidróxidos, oxihidróxidos, silicatos, hidratos de silicato o fases complejas que contengan cualquiera de Al, Ca y Si, O y H (p. ej., formando $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$, etc.). El HCl también se regenera, tal como se describió para el proceso de
- 15 descomposición térmica en una sola etapa. A continuación, el aluminio insoluble, p. ej., oxidado, puede separarse de la solución de la fracción rica en calcio; estos pueden procesarse de manera adicional, p. ej., secarse. La solución restante se lleva entonces a una segunda temperatura o un intervalo de temperaturas en las que una o más sales no cálcicas, tales como al menos sales de hierro, formen sustancias insolubles, tales como óxidos, hidróxidos, oxihidróxidos, silicatos, silicatos
- 20 hidratados o fases complejas que contengan cualquiera de Fe, Ca y Si, O y H, p. ej., $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 , etc. La temperatura puede ser cualquier temperatura o intervalo de temperaturas adecuado, p. ej., al menos 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175 o 180 °C y/o no más de 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190 o 195 °C; en determinadas modalidades, la solución restante se calienta hasta 140-195 °C; en una modalidad preferida, la
- 25 solución restante se calienta hasta 145-190 °C; en una modalidad más preferida, la solución restante se calienta hasta 145-185 °C, en una modalidad preferida, hasta 165-185 °C, en una modalidad más preferida, hasta 175-185 °C. En determinadas modalidades, la solución restante se calienta hasta al menos 145 °C, tal como al menos 150 °C, en determinados casos al menos 155 °C, por ejemplo, una segunda etapa de calentamiento hasta aproximadamente 180 °C. Se puede utilizar cualquier
- 30 método adecuado para llevar la fracción rica en calcio a la temperatura deseada y/o mantenerla a la temperatura deseada. La solución rica en calcio puede mantenerse a la temperatura deseada o cerca de ella durante un tiempo adecuado, tal como al menos 0, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7 o 10 horas, y/o no más de 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7, 10 o 15 horas. En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se mantiene a la

temperatura deseada o cerca de ella durante entre 10 min y 5 horas, tal como de 30 min a 4 horas, en algunos casos de 1 a 3 horas. Esta temperatura sirve para formar especies de hierro insolubles, p. ej., oxidadas (p. ej., formando $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 , etc.) y regenerar simultáneamente el primer ácido de HCl como en la primera etapa de calentamiento. A continuación, el Fe insoluble puede separarse de la solución de la fracción rica en calcio; después puede seguir procesándose, p. ej., secarse.

[0065] En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se trata con una o más bases, lo cual provoca la formación de un conjunto de sustancias insolubles no cálcicas, que pueden eliminarse de la fracción rica en calcio. El HCl también puede regenerarse durante la adición de la base. En determinadas modalidades, este es el único proceso utilizado para provocar la formación de sustancias insolubles no cálcicas (compuestos metálicos precipitantes). En determinadas modalidades, se utiliza un proceso de descomposición térmica de una sola etapa y la adición de base. En determinadas modalidades, se utiliza un proceso de descomposición térmica de dos etapas y la adición de base. La o las bases pueden ser cualquier base o bases adecuadas, siempre y cuando la fuerza y la cantidad de la base o bases sean suficientes para precipitar una cantidad deseada de compuestos metálicos. En determinadas modalidades, la o las bases comprenden una base cálcica, tal como una o más bases cálcicas obtenidas como producto en el proceso, tales como CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, o CaSi tal como silicato dicálcico y/o tricálcico. En determinadas modalidades, al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, o 95 % de la o las bases comprende uno o más productos obtenidos en el proceso, tales como una base de calcio, p. ej., CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o CaSi tal como silicato dicálcico o tricálcico; en una modalidad preferida, al menos el 30 %; en una modalidad más preferida, al menos el 80 %; en una modalidad aún más preferida, al menos el 90 %. En determinadas modalidades, el 100 % de la o las bases comprende uno o más productos obtenidos en el proceso, tal como una base de calcio, p. ej., CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o CaSi tal como silicato dicálcico y/o tricálcico. Una parte o la totalidad de la base añadida puede regenerarse en etapas adicionales del proceso, p. ej., la descomposición de la sal de calcio que produce, p. ej., CaO , silicatos dicálcicos y/o silicatos tricálcicos. En determinadas modalidades, la base se añade a la fracción rica en calcio en un proceso de una sola etapa para precipitar todos los compuestos deseados, p. ej., para precipitar los compuestos de Al, Fe y Mg. En determinados procesos, la base se añade después de que se hayan precipitado algunas de las sales no cálcicas (compuestos metálicos), p. ej., mediante un proceso de descomposición térmica en una o en dos etapas; en esos casos, se añade suficiente base para precipitar los compuestos metálicos restantes o una parte de estos (p. ej., los compuestos de Fe y Mg restantes, o los compuestos de Mg restantes).

[0066] En determinadas modalidades, se añade base para precipitar los compuestos de Mg. El

precipitado puede incluir uno o más compuestos de magnesio, tales como $\text{Mg}(\text{OH})_2$, silicato de magnesio hidratado, silicato de alúmina de magnesio y/u otros compuestos de magnesio. El precipitado puede separarse de la fracción rica en calcio restante mediante cualquier método adecuado, por ejemplo, los métodos descritos en el presente documento. El precipitado puede

5 tratarse de manera adicional, p. ej., mediante secado. El precipitado de magnesio puede utilizarse para la reacción con dióxido de carbono, p. ej., dióxido de carbono en un gas de combustión, tal como un gas de combustión producido como parte de un proceso para proporcionar energía para el proceso global (p. ej., un gas de combustión de gas natural o carbón); y/o para la reacción con el dióxido de carbono atmosférico, y/u otra fuente de dióxido de carbono, tal como una masa de agua,

10 p. ej., el océano, para producir productos de magnesio-dióxido de carbono tales como MgCO_3 , en algunos casos $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, mediante lo cual se secuestra el dióxido de carbono. La cantidad de dióxido de carbono secuestrada de ese modo puede reducir la cantidad total de dióxido de carbono producida mediante el proceso total, en algunos casos lo suficiente como para que el proceso total sea neutro en carbono o incluso negativo en carbono. Además, se puede hacer reaccionar otras

15 sustancias presentes en un gas de combustión, p. ej., sustancias que deben eliminarse del gas de combustión, tales como SO_x y/o NO_x , con el precipitado de Mg, reduciendo en algunos casos el nivel de una o más de las sustancias por debajo de los niveles requeridos para el gas de combustión liberado a la atmósfera. De manera adicional o alternativa, el precipitado de magnesio puede secuestrar dióxido de carbono de la atmósfera; para ello puede utilizarse cualquier disposición

20 adecuada. En determinadas modalidades, el precipitado de magnesio, opcionalmente procesado para aumentar el área superficial, puede simplemente colocarse en una pila, esparcirse en el suelo en una capa, o distribuirse de otra manera adecuada, y dejar que secuestre el dióxido de carbono atmosférico durante un período de tiempo adecuado, que puede durar días, semanas, meses, un año o más de un año. En determinadas modalidades, el precipitado de magnesio puede colocarse

25 en una suspensión/solución acuosa, donde se pone en contacto con, p. ej., gas de combustión o aire atmosférico. De manera adicional o alternativa, el precipitado de magnesio puede secuestrar el dióxido de carbono de una masa de agua, tal como el agua del océano; para ello puede utilizarse cualquier disposición adecuada. En este caso, se pueden formar especies solubles de bicarbonato, lo que duplica efectivamente la cantidad de dióxido de carbono secuestrado.

30

Descomposición de compuestos de calcio

[0067] El bloque S160 que incluye la descomposición de los compuestos de calcio sirve para descomponer los compuestos de calcio, p. ej., cloruro de calcio, en diferentes compuestos de calcio, p. ej., sólido declorado que comprende silicatos de calcio, dicálcicos y/o tricálcicos, preferiblemente

en una forma utilizable. El bloque S160 puede incluir además la descomposición de otros compuestos metálicos. Los ejemplos incluyen: compuestos de magnesio, compuestos de aluminio y compuestos de hierro. En algunas variaciones, la descomposición comprende la implementación de una descomposición térmica. Por ejemplo, la descomposición térmica del carbonato de calcio en

[0068] De manera adicional o alternativa, se pueden implementar otros tipos de descomposición (p. ej., descomposición química, descomposición electroquímica). En algunas variaciones, el bloque S160 incluye la descomposición electroquímica de los compuestos de calcio y otros metales mediante electrólisis. Por ejemplo, esto puede ocurrir mediante la electrólisis de cloruro de sodio mediante el uso del proceso cloroalcalino.

[0069] En muchas variaciones, la descomposición de los compuestos de calcio S160, funciona en conjunto con el bloque S150. Por ejemplo, en muchas variaciones, la descomposición térmica forma parte de la separación de los compuestos de calcio y/u otros compuestos metálicos. En estas variaciones, el bloque S160 puede tener lugar directamente antes, simultáneamente o directamente después del bloque S150.

[0070] Por ejemplo, en algunas variaciones, el bloque S160 puede incorporarse para descomponer y/o separar los compuestos metálicos (compuestos no cálcicos) de la fracción rica en calcio antes de separar los compuestos cálcicos de la fracción rica en calcio S150. En determinadas modalidades, uno o más de los metales separados se utiliza en el proceso, p. ej., como fundente para la clinkerización. Esto puede servir para mejorar y/o simplificar la separación de los compuestos de calcio. Además, esto puede permitir una extracción «más pura» de los metales extraídos para su reutilización. En un ejemplo, se puede implementar una descomposición térmica o pirohidrólisis en la fracción rica en calcio para extraer metales (p. ej., aluminio y hierro). La descomposición térmica o la pirohidrólisis pueden implementarse de la forma que se desee, dependiendo potencialmente del sistema implementado (p. ej., se puede utilizar la recompresión mecánica de vapor para reincorporar el calor generado en otras partes de la reacción para la descomposición térmica o la evaporación del agua). En este ejemplo, la fracción rica en calcio puede calentarse hasta 160-190 °C, tal como 175-180 °C, por ejemplo, aproximadamente 180 °C, mediante lo cual se hidroliza Al y Fe (p. ej., se forma $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 , etc.). Además, la descomposición térmica puede ayudar a regenerar el agente de lixiviación (p. ej., regenerar HCl) tal como se describirá más adelante para el bloque S170. La hidrólisis de los metales puede precipitarlos fuera de la solución. A continuación, pueden separarse como otra fracción sólida de la solución de la fracción rica en calcio. Los metales separados también pueden comercializarse como SCM con o sin adición de sílice. En determinadas modalidades, uno o más de los metales separados

se utiliza en el proceso, p. ej., como fundente para la clinkerización.

[0071] En otro ejemplo de implementación, el bloque S160 puede incorporar una descomposición térmica en dos etapas antes del bloque S150. Es decir, la fracción rica en calcio puede calentarse inicialmente a 125-145 °C, tal como 130-140 °C, por ejemplo, 135-140 °C, en algunos casos aproximadamente 136 °C, mediante lo cual se hidroliza el aluminio (p. ej., se forma $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$, etc.). A continuación, el sólido de aluminio hidrolizado puede separarse de la fracción rica en calcio. Una vez eliminado el aluminio de la fracción rica en calcio, este puede calentarse una segunda vez hasta 160-190 °C, por ejemplo 175-185 °C, por ejemplo, aproximadamente 180 °C, mediante lo cual se hidroliza el hierro (p. ej., se forma $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 , etc.). De la misma manera, el sólido de hierro hidrolizado puede separarse luego de la fracción rica en calcio. Esta descomposición térmica en dos etapas puede permitir una separación más «pura» del aluminio y el hierro para su posible reutilización. En determinadas modalidades, uno o más de los metales separados se utiliza en el proceso, p. ej., como fundente para la clinkerización.

[0072] De la misma manera que en la descomposición térmica de una sola etapa y de dos etapas, es posible incorporar descomposiciones de múltiples etapas (p. ej., descomposición térmica), dependiendo de la composición de la fracción rica en calcio y del o de los resultados deseados. Por ejemplo, se puede incorporar una descomposición térmica de múltiples etapas para hidrolizar otros compuestos metálicos de la fracción rica en calcio.

[0073] En general, la fracción rica en calcio después de la eliminación de los compuestos metálicos será muy alta en cloruro de calcio (CaCl_2), p. ej., al menos 70 %, al menos 80 %, al menos 90 %, en algunos casos al menos 95 % o incluso al menos 99 % de cloruro de calcio. La fracción rica en calcio normalmente presentará también una concentración alta, p. ej., de CaCl_2 al 40 %/agua al 60 % de agua a CaCl_2 al 70 %/agua al 30 %, o de 50 %/50 % a 60 %/40 %, o incluso de 55 %/45 % a 60 %/40 %.

[0074] Ya sea que se produzcan mediante una fase de disolución ácida, una descomposición térmica de una etapa, una descomposición térmica de dos etapas, una adición de base o cualquier combinación adecuada de estas, los compuestos de calcio resultantes, p. ej., incluido el cloruro de calcio, que permanecen en la fracción rica en calcio pueden someterse a un tratamiento que produzca uno o más productos adicionales, p. ej., clínker, p. ej., clínker para el cemento de Pórtland. Esto puede implicar la eliminación de agua de la fracción rica en calcio restante que contiene los compuestos de calcio (deshidratación) para proporcionar un sólido con alto contenido de calcio que comprenda el o los compuestos de calcio, p. ej., una o más sales de calcio, p. ej., CaCl_2 , y el tratamiento del sólido, p. ej., para convertirlo en compuestos de calcio declorados, que pueden o no

incluir cal (CaO), y/o, tras un tratamiento adicional, en clínker, p. ej., clínker para cemento de Pórtland, que comprenda silicato dicálcico y silicato tricálcico.

Deshidratación

5 **[0075]** El agua puede eliminarse de la fracción rica en calcio mediante cualquier método adecuado, p. ej., calentándola para evaporar el agua en forma de vapor; una parte o la totalidad del vapor resultante puede utilizarse en otros procesos que requieran vapor, tal como se describirá más adelante. El sólido compuesto de calcio resultante comprende una o más sales de calcio, p. ej., CaCl_2 (sólido que comprende cloruro de calcio) y puede comprender además sales no cálcicas, p. ej., sales de hierro, aluminio y/o magnesio, y/u otras sales, siempre y cuando no estén presentes en cantidades que hagan que el producto final sea inadecuado para su uso previsto, p. ej., como clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y/o interfieran con un proceso para producir el clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland.

15 **[0076]** El sólido compuesto de calcio, p. ej., el sólido que comprende cloruro de calcio, puede tratarse para producir partículas del tamaño deseado para su tratamiento posterior, p. ej., mediante laminación, molienda u otro método adecuado. A continuación, puede tratarse para descomponer los compuestos que contienen calcio, p. ej., para declorar el sólido que contiene cloruro de calcio a fin de producir un sólido declorado que comprenda calcio, que puede incluir o no CaO, y regenerar HCl; para producir clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland, esto puede calentarse de manera
20 adicional en presencia de fundente, p. ej., un fundente que proporcione Si, Fe y Al (sinterización) para producir clínker, que pueda tratarse de manera adicional para producir cemento, p. ej., cemento de Pórtland. Se apreciará que uno o más materiales o procesos del método general pueden fijarse, ajustarse o elegirse de forma tal que se produzca un producto final deseado. Por ejemplo, los materiales iniciales, las relaciones Ca:Si para la decloración/clinkerización, la composición del
25 fundente y/o las cantidades para la clinkerización, y/o las condiciones de clinkerización pueden ajustarse para producir un clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland, que comprenda una variedad deseada de cantidades de silicatos dicálcicos, silicatos tricálcicos y, en algunos casos, otras especies que se desee que estén presentes (o no) en el producto. Por lo tanto, uno o más materiales o procesos pueden configurarse, ajustarse o elegirse para producir un clínker que
30 comprenda silicato tricálcico (C3S) a 40-70 % p/p, en una modalidad preferida 50-65 %, en modalidades más preferidas 52-63 %; y/o que comprenda silicato dicálcico (C2S) a 10-35 % p/p, en modalidades preferidas 15-25 %; en alguna modalidad menos de 15 %. En determinadas modalidades, el MgO es inferior a un umbral determinado, p. ej., inferior al 1,0 % o inferior al 0,6 %. En determinadas modalidades, no hay más de 15, 12, 10 u 8 % de aluminato tricálcico (C3A)

presente, p. ej., no más de 8 %. Se apreciará que las características funcionales, además o como alternativa a las características de composición, pueden ser deseadas y manipuladas, p. ej., el esfuerzo de compresión de un cemento o mortero en uno o más puntos temporales.

5 **Decloración**

- [0077]** En determinadas modalidades, el sólido compuesto de calcio, p. ej., el sólido que comprende cloruro de calcio, se calienta en presencia de vapor, sílice y, opcionalmente, fundente. Generalmente no se necesita un fundente en esta etapa, pero puede añadirse a la mezcla, p. ej., por conveniencia, tal como un fundente que contenga aluminio, p. ej., $\text{Al}(\text{OH})_3$ y/o hierro, p. ej., $\text{Fe}(\text{OH})_x$. En determinadas modalidades, parte o la totalidad de la sílice, p. ej., al menos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 98, 99 % de la sílice, o el 100 % de la sílice, es sílice producida a partir de minerales y/o rocas de carácter no calcáreo, por ejemplo, en una etapa anterior del proceso, p. ej., la producción de SCM (puzolana) tal como se describe en el presente documento. En determinadas modalidades, parte o la totalidad del fundente, p. ej., al menos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 98, 99 % del fundente, o el 100 % del fundente, son óxidos de hierro y aluminio, hidróxidos, y potencialmente otros compuestos adecuados, producidos a partir de minerales y/o rocas de carácter no calcáreo, por ejemplo, en una etapa anterior del proceso, p. ej., precipitados como sales insolubles a partir de una fracción rica en calcio, tal como se describe en el presente documento. Se apreciará que el sólido compuesto de calcio, p. ej., el sólido que comprende cloruro de calcio, puede comprender una o más sustancias que pueden actuar como fundente, pero, en general, es preferible añadir fundente exógeno. El calentamiento puede realizarse en una sola etapa, a una temperatura suficientemente alta para descomponer el sólido que contiene calcio, p. ej., el sólido que comprende cloruro de calcio, y los compuestos resultantes de clínker/sinter con fundente. En el caso más sencillo, el sólido compuesto de calcio, p. ej., el sólido que comprende cloruro de calcio, se calienta en presencia de vapor y sílice a una temperatura suficientemente alta para descomponer los compuestos de calcio, producir HCl y clínker/sinter con fundente. En modalidades preferidas, el calentamiento puede realizarse en dos o más etapas a temperaturas sucesivamente más altas, y el fundente, si se utiliza, puede estar presente en la totalidad o solamente en una parte de las etapas (clinkerización/sinterización).
- [0078]** Tal como se mencionó anteriormente, el sólido compuesto de calcio puede comprender cloruro de calcio; en determinadas modalidades, comprende al menos 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 o 95 % de cloruro de calcio, tal como al menos 90 %; en algunos casos, al menos 95 %. El proceso de descomposición produce la decloración del cloruro de calcio en el sólido, p. ej., la decloración de al menos el 90, 95, 97, 98, 99, 99,1, 99,5, 99,9, 99,91, 99,95 o 99,99 % del cloruro de calcio en el

sólido. Sorprendentemente, se ha descubierto que al menos el 99 %, 99,5 %, 99,9 % o incluso el 99,95 % del cloruro de calcio puede declorarse, y estos niveles de decloración hacen que el contenido de cloruro del producto final sea lo suficientemente bajo como para cumplir con las normas para el cemento de Pórtland, p. ej., menos del 1 %, o menos del 0,1 % de cloruro, sin tratamiento adicional. En una modalidad preferida, al menos el 99 % del cloruro de calcio del sólido está declorado; en una modalidad más preferida, al menos el 99,9 % del cloruro de calcio del sólido está declorado; en una modalidad incluso más preferida, al menos el 99,95 % del cloruro de calcio en el sólido está declorado.

[0079] En determinadas modalidades, el sólido compuesto de calcio, p. ej., el sólido que comprende cloruro de calcio, se calienta hasta una o más temperaturas o intervalos de temperaturas en presencia de vapor y sílice, donde la o las temperaturas o los intervalos de temperaturas son suficientes para conducir el gas de cloro fuera del sólido; el gas de cloro se combina con protones del vapor para regenerar HCl, que puede reciclarse tal como se describió anteriormente. Al mismo tiempo, el cloruro de calcio se convierte en compuestos de calcio declorados, que pueden o no incluir óxido de calcio; generalmente, los compuestos declorados comprenden uno o más silicatos, tales como el silicato dicálcico. Las temperaturas pueden no ser lo suficientemente altas como para producir silicato tricálcico, o solo en pequeñas cantidades.

[0080] Una reacción general puede ser

$$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO} + 2\text{HCl}$$

[0081] Sin embargo, de manera más general, las reacciones pueden representarse como:

$$\text{CaCl}_2 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{silicatos y otras especies de Ca} + 2\text{HCl}$$

[0082] Aunque es posible realizar la descomposición y la clinkerización/sinterización a una temperatura, es preferible realizar la descomposición y la clinkerización (p. ej., la sinterización) en un proceso de múltiples etapas a temperaturas sucesivamente más altas, donde el material puede mantenerse a una temperatura determinada durante un período determinado, p. ej., 0,5-5 horas, o 0,75-4 horas, o 1-3 horas, por ejemplo, 1, 2, o 3 horas, y/o la temperatura puede aumentarse continuamente a una o más velocidades adecuadas. Esto mejora la eficiencia y el rendimiento de la decloración, y el proceso alcanza niveles sorprendentemente altos de decloración, tal como se describió en otras partes. En particular, en determinadas modalidades la sílice está presente, p. ej., una relación molar de Ca:Si de 2,5-3,25, durante el calentamiento; el calentamiento también puede mantenerse a una velocidad controlada de, p. ej., no más de 80, 70, 60, 50, 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5, 2 o 1 °C/min, tal como no más de 20 °C/min, o no más de 10 °C/min después de que se alcance un umbral de temperatura, p. ej., un umbral de 700-750 °C, tal como 700, 710, 720, 730, 740 o 750 °C, y se mantiene a esa velocidad hasta que se alcance un segundo umbral, p. ej., 800-1000 °C,

tal como 800, 810, 820, 830, 840, 850, 860, 870, 880, 890, 900, 910, 920, 930, 940, 950, 960, 970, 980, 990 o 1000 °C. En algunos casos, los materiales pueden mantenerse a una o más temperaturas o intervalos de temperaturas durante uno o más períodos antes de seguir. Los índices y umbrales exactos pueden depender de los materiales y de otras condiciones. De manera adicional o alternativa, la temperatura puede incrementarse gradualmente de una temperatura a la siguiente. El calentamiento puede realizarse en cualquier sistema adecuado, tal como un lecho fluidizado o un horno; en una modalidad preferida, el calentamiento se realiza en un horno, tal como un horno giratorio.

[0083] Por lo tanto, en el presente documento se proporciona un método para declorar cloruro de calcio que comprende calentar el cloruro de calcio en presencia de vapor, sílice y, opcionalmente, un fundente que comprende compuestos de hierro y/o aluminio, tales como uno o más de los compuestos de hierro y/o aluminio descritos en el presente documento, hasta una primera temperatura, luego 1) mantener el cloruro de calcio y otros componentes a la primera temperatura durante un primer período para producir un primer conjunto de uno o más productos que comprendan al menos HCl y, opcionalmente, eliminar el HCl; calentar el primer conjunto restante de uno o más productos hasta una segunda temperatura, en presencia de vapor, hasta una segunda temperatura más elevada, y mantener el o los productos y el vapor a una segunda temperatura para producir un segundo conjunto de uno o más productos que comprenda HCl, y, opcionalmente, eliminar el HCl; opcionalmente, etapas adicionales de calentamiento hasta, p. ej., una tercera temperatura y, luego, en determinadas modalidades, incluso una cuarta temperatura, y mantener durante un determinado período cada temperatura para producir un conjunto de productos, uno de los cuales sea HCl; las temperaturas, los compuestos de aluminio y/o hierro (si se utilizan; tal como se indicó, generalmente no son necesarios en esta etapa), la sílice y las duraciones pueden ser los descritos; o 2) calentar gradualmente el cloruro de calcio y otros componentes desde una primera temperatura hasta una segunda temperatura más alta, donde la velocidad de calentamiento es suficientemente lenta para permitir un nivel deseado de, p. ej., producción y decloración máximas de HCl; de forma tal que el cloruro de calcio esté declorado al menos en un 95 %, en una modalidad preferida, declorado al menos en un 99,9 %, en una modalidad más preferida, declorado al menos en un 99,95 %.

[0084] En determinadas modalidades, se proporciona un método para declorar un sólido que comprenda cloruro de calcio, que comprende (i) combinar el sólido que comprenda cloruro de calcio con un sólido que comprenda sílice; (ii) calentar el cloruro de calcio y la sílice en combinación en presencia de vapor a una temperatura de 750-1250 °C para producir gas de HCl y un producto de calcio declorado. En determinadas modalidades, la temperatura es de 900-1250 °C. En determinadas modalidades, la temperatura es de 1000-1250 °C. En determinadas modalidades, la

temperatura es de 1100-1250 °C. En determinadas modalidades, cuando la temperatura alcanza 700-750 °C, por ejemplo, 700, en algunos casos 720, en algunos casos 750, el calentamiento procede a una velocidad de no más de 60, 50, 40, 30, 10 o 5 °C por minuto hasta que se alcance una temperatura de 800-850 °C. Sin quedar limitados por la teoría, se cree que la temperatura

5 umbral para mantener la velocidad a un determinado nivel o por debajo de este y la velocidad se basan en evitar o disminuir la fusión del cloruro de calcio y garantizar que pueda ocurrir la decloración y/o las reacciones con sílice. En determinadas modalidades, el sólido que comprende cloruro de calcio y el sólido que comprende sílice se combinan de forma tal que se alcance una relación molar Ca-Si de entre 1 y 4, preferiblemente de 2,5 a 3,5, más preferiblemente 2,5-3,25. En determinadas

10 modalidades, el sólido que comprende cloruro de calcio está presente en un 50-90 %p y la sílice está presente en un 10-40 %p. En determinadas modalidades, el sólido que comprende cloruro de calcio comprende al menos 80, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98 o 99 % de cloruro de calcio. En determinadas modalidades, el sólido que comprende sílice comprende al menos 50, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 o 95 % de sílice, tal como al menos 60 %, preferiblemente al menos 75 %, más

15 preferiblemente al menos 80 %. En determinadas modalidades, el sólido que comprende cloruro de calcio comprende al menos 90 % de cloruro de calcio y el sólido que comprende sílice comprende al menos 80 % de sílice. En determinadas modalidades, el vapor está presente a 5-100 %vol. En determinadas modalidades, el contenido de cloruro se reduce al menos en un 80, 90, 95, 96, 97, 98 o 99 %; esto puede lograrse mediante el uso de una rampa para el calentamiento, el mantenimiento

20 de los materiales a una o más temperaturas durante uno o más períodos, y/u otras manipulaciones, tal como se describe en el presente documento. En determinadas modalidades, el producto de calcio declorado comprende al menos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 u 80 %p de silicato dicálcico, en algunos casos al menos 30 %, tal como al menos 50 %, de silicato dicálcico y menos de 30, 20, 15, 12, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 o 1 %p de CaO, en algunos casos menos de 10 %, tal como menos de 5 % de CaO. En determinadas modalidades, el producto cálcico declorado

25 comprende al menos 30 % de silicato dicálcico y menos de 10 % de CaO. El producto de calcio declorado también puede contener menos de 5 % de Cl, en algunos casos menos de 1 % de Cl.

[0085] En determinadas modalidades se proporciona una composición sólida que comprende

1) un sólido que comprende al menos 50, 60, 70, 80, 90 o 95 % de cloruro de calcio, tal como al

30 menos 90 %, en modalidades preferidas al menos 95 % de cloruro de calcio; 2) sílice; y, opcionalmente, 3) un fundente que comprende uno o más compuestos de hierro, tales como uno o más de los siguientes: $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 y/o uno o más compuestos de aluminio, tales como uno o más de los siguientes: $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$. La composición puede tener los componentes en proporciones (%p) tales como 50-90 % de cloruro de calcio sólido; 10-

40 % de sílice; 0-4 % de compuestos de hierro que sirvan como fundente; 0-4 % de compuestos de aluminio que sirvan como fundente. En una modalidad preferida, las proporciones son 60-85 % de cloruro de calcio sólido; 15-30 % de sílice; 1-3 % de compuestos de hierro que sirven como fundente; 1-3 % de compuestos de aluminio que sirven como fundente. En una modalidad más preferida, las proporciones son 70-80 % de cloruro de calcio sólido; 15-25 % de sílice; 1-2 % de compuestos de hierro que sirven como fundente; 1-2 % de compuestos de aluminio que sirven como fundente. En determinadas modalidades, todos los componentes proceden de una única fuente, p. ej., una única fuente que comprende minerales y/o rocas de carácter no calcáreo.

[0086] Es preferible calentar y mantener el sólido de compuesto de calcio en presencia de vapor y, generalmente, sílice y, opcionalmente, fundente, a una primera temperatura, tal como una primera temperatura que sea la temperatura a la que se puede manipular el HCl de acuerdo con la metodología conocida en la técnica. En determinadas modalidades, el sólido se calienta hasta no más de 1250 °C, p. ej., 800-1250 °C, en determinados casos 850-1000 °C en presencia de vapor, sílice y, opcionalmente, compuestos que contienen aluminio y hierro, para producir HCl y un producto que contiene compuesto de calcio declorado (p. ej., en algunos casos con inclusión de CaO). El sólido puede calentarse en cualquier forma y sistema adecuados; p. ej., lecho fluidizado u horno. En esta y otras etapas, la sílice puede estar presente en cualquier proporción adecuada con respecto al compuesto de calcio, p. ej., CaCl_2 ; por ejemplo, una muestra de 100-105 g puede contener ~80 gm de CaCl_2 , ~20 gm de sílice y, opcionalmente, ~1-3 gm de cada uno de los compuestos de aluminio y hierro. Esto es simplemente ilustrativo y se apreciará que las proporciones de los diversos componentes pueden variar de acuerdo con las normas para el tipo de clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland, que se producirá, tal como es evidente para la persona experta en la técnica.

[0087] El producto que contiene el compuesto de calcio declorado (que, p. ej., en algunos casos, incluye CaO) luego puede calentarse hasta una segunda temperatura, y opcionalmente, luego hasta una tercera temperatura, en algunos casos luego también hasta una cuarta temperatura, generalmente también en presencia de vapor, sílice (en este punto parte o la totalidad de la sílice puede haber formado silicatos), y fundente, por ejemplo, compuestos de aluminio y/o hierro que sirvan como fundente; a una o más de las temperaturas más altas el vapor puede no estar presente. Por lo tanto, el producto que contiene el compuesto de calcio declorado (que, p. ej., en algunos casos, incluye CaO) se clinkeriza en un proceso que puede incluir la sinterización, p. ej., en presencia de fundente, tal como fundente que contenga aluminio y/o hierro, para producir clínker, tal como clínker de cemento de Pórtland. «Clinkerización», tal como se usa ese término en el presente documento, incluye un proceso mediante el cual los materiales sólidos se tratan a temperaturas elevadas para producir un clínker de cemento; «clinkerización» y «sinterización» se utilizan por lo

general como sinónimos en el presente documento; el proceso tal como se describe en el presente documento puede incluir varios grados de sinterización, incluso en algunos casos ninguna sinterización, siempre y cuando se produzcan los productos deseados. El fundente puede incluir materiales producidos en una etapa anterior del proceso, p. ej., compuestos de aluminio y/o hierro eliminados de la fracción rica en calcio, tal como se describió anteriormente. En determinadas modalidades, al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 o 95 % del fundente exógeno que contiene aluminio y/o hierro comprende uno o más compuestos eliminados de la fracción rica en calcio, tal como al menos el 50 %, en algunos casos al menos el 70 % y, en determinadas modalidades, al menos el 90 %. En determinadas modalidades, el 100 % del fundente exógeno que contiene aluminio y/o hierro comprende uno o más compuestos extraídos de la fracción rica en calcio. En determinadas modalidades, se utiliza fundente exógeno que no se produce en una etapa anterior del proceso, p. ej., arcilla, etc., tal como se conoce en la técnica. La presencia o no de fundente exógeno y, en caso afirmativo, en qué cantidad, puede determinarse, al menos en parte, según la composición final deseada, p. ej., el tipo de cemento de Pórtland que se esté produciendo. En determinadas modalidades, se utiliza un fundente que comprende compuestos que contienen hierro y aluminio.

[0088] Si solo se utiliza una segunda temperatura, el proceso implica calentar el producto que contiene el compuesto de calcio de cloruro (que, p. ej., en algunos casos incluye CaO) hasta 1200-1550 °C, preferiblemente no más de 1450 °C, en presencia de un fundente, mediante lo cual se forma un clínker, p. ej., clínker de cemento de Pórtland que comprende silicato dicálcico y silicato tricálcico; en algunos casos, el clínker, o un producto intermedio, también comprende aluminato tricálcico y/o aluminoferrita tetracálcica. Si se utilizan temperaturas intermedias, una temperatura puede ser, p. ej., 900-1100 °C, tal como 950-1050 °C; una temperatura puede ser, p. ej., 1100-1300 °C, tal como 1150-1250 °C; una temperatura puede ser, p. ej., 1400-1600 °C, tal como 1450-1550 °C. En un ejemplo de modalidad, las temperaturas son, sucesivamente, 850, 1000, 1200 y 1500 °C, mantenidas durante 1 hora cada una. Esto es meramente ilustrativo, y la persona experta en la técnica puede determinar las temperaturas óptimas o deseadas.

[0089] Durante los procesos de calentamiento, se puede regenerar la base, p. ej., una o más bases cálcicas, que puede haberse utilizado en una etapa de precipitación de la base, p. ej., se puede regenerar al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90, 95, 98 o 99 % de la cantidad de base utilizada en una etapa de precipitación de la base.

[0090] Al final del proceso, puede quedar clínker, donde el clínker puede tener un diámetro de milímetros, p. ej., 0,5-50 mm, o 1-40 mm, o 1-30 mm; sin embargo, otros tamaños son aceptables para su procesamiento adicional.

[0091] Por lo tanto, en el presente documento se proporciona un clínker, p. ej., clínker de cemento de Pórtland que comprende silicato dicálcico y silicato tricálcico, donde el silicato dicálcico y el silicato tricálcico derivan de materiales no calcáreos, p. ej., minerales y rocas de carácter no calcáreo, por ejemplo, en un proceso tal como se describe en el presente documento. En determinadas modalidades, el calcio y los silicatos derivan de los mismos materiales iniciales, p. ej., los mismos materiales no calcáreos, tales como minerales y/o rocas de carácter no calcáreo. Tal como se usan en el presente documento, «silicato dicálcico» (al que también se hace referencia en el presente documento como «belita», C2S) y «silicato tricálcico» (al que también se hace referencia en el presente documento como «alita», C3S) incluyen los significados conocidos en la técnica de la producción de cemento y hormigón, p. ej., el silicato tricálcico puede comprender pequeñas cantidades de otros constituyentes, p. ej., 3-4 % de óxidos sustituyentes; el silicato dicálcico puede contener pequeñas cantidades de otros óxidos además de CaO y SiO₂.

[0092] En el presente documento también se proporciona un hormigón que comprende cemento, p. ej., cemento de Pórtland tal como OPC, producido mediante uno o más de los procesos descritos en el presente documento, es decir, producido en un proceso que no requiere calcinación de piedra caliza. En determinadas modalidades, el hormigón también puede comprender cemento, p. ej., cemento de Pórtland tal como OPC, producido mediante un proceso convencional, es decir, un proceso que requiere la calcinación de la piedra caliza.

[0093] También se proporciona un método para producir un clínker a partir de un sólido compuesto de calcio que comprende cloruro de calcio (CaCl₂) que comprende: (a) declorar el sólido compuesto de calcio que comprende CaCl₂ para producir una composición declorada que comprende Ca y tiene menos de 10 % p/p de Cl; y (b) calentar la composición declorada en presencia de un fundente para producir un clínker. El clínker puede comprender silicato dicálcico y silicato tricálcico, p. ej., un clínker de cemento de Pórtland tal como un clínker de OPC. La composición que comprende CaCl₂ también puede comprender sílice; por ejemplo, la relación molar Ca:Si puede ser de 1,0 a 5,0, preferiblemente de 2,0 a 4,0, más preferiblemente de 2,5 a 3,25.

Regeneración de agentes de lixiviación

[0094] El bloque S170, que incluye la regeneración de los agentes de lixiviación, sirve para reponer los agentes de lixiviación implementados en la descomposición del material no calcáreo. En algunas variaciones, la regeneración de los agentes de lixiviación S170 puede comprender simplemente la adición de nuevos agentes de lixiviación para reemplazar los agentes de lixiviación consumidos previamente. De manera adicional o alternativa, se puede implementar un proceso (p. ej., estimulación térmica, química o eléctrica) para regenerar los agentes de lixiviación S170.

[0095] En las modalidades en las que el agente de lixiviación comprende un ácido fuerte, p. ej.,

HCl, al final de todas las etapas de regeneración de ácido, p. ej., la regeneración del HCl, se puede regenerar al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90, 95, 98 o 99 % del ácido inicial, p. ej., HCl inicial. En una modalidad preferida, se regenera al menos el 80 % del HCl inicial. En una modalidad preferida, se regenera al menos el 90 % del HCl inicial. Con el fin de proporcionar suficiente ácido, p. ej., suficiente HCl, para el tratamiento posterior del material no calcáreo, se puede añadir de nuevo una cantidad de ácido fuerte, p. ej., HCl, no regenerado, es decir, completar el ácido fuerte, p. ej., HCl.

[0096] En muchas variaciones, la regeneración de los agentes de lixiviación S170 puede ocurrir en conjunción con el bloque S160, como parte de un proceso de descomposición. Por ejemplo, en un ejemplo puede haber una descomposición térmica distinta. Por ejemplo, en una implementación, el sulfito de calcio se descompone térmicamente para producir óxido de calcio y silicato de calcio, al mismo tiempo que se regenera un dióxido de azufre.

[0097] De manera adicional o alternativa, la regeneración de los agentes de lixiviación puede ser un proceso distinto. Por ejemplo, el sulfato de calcio puede descomponerse térmicamente para producir óxido de calcio o silicato de calcio y dióxido de azufre. A continuación, el dióxido de azufre debe convertirse en ácido sulfúrico para regenerar el agente de lixiviación.

Producción de clínker o cemento

[0098] En algunas variaciones, el método puede incluir una etapa de producción de cemento. Es decir, en variaciones donde la descomposición incluye un producto compuesto de calcio (p. ej., óxido de calcio, silicato dicálcico y/o silicato tricálcico), el método puede incluir el bloque S180, que incluye la producción de cemento a partir del producto compuesto de calcio. Tal como se describió anteriormente, el tipo de cemento producido puede ser específico en cuanto a la implementación (p. ej., cemento de Pórtland común). En muchas variaciones, la producción de cemento puede incluir la clinkerización/sinterización del producto compuesto de calcio y sirve para producir cemento. En otras variaciones, la producción de cemento a partir del producto compuesto de calcio S180 puede incluir la producción directa de silicatos de calcio mediante descomposición térmica o inserción electroquímica de sílice en el producto compuesto que contiene calcio. De manera alternativa, se pueden implementar otros procesos para producir cemento, donde los procesos pueden depender de los tipos de producto compuesto de calcio y de la producción de cemento deseada.

[0099] En una modalidad, se proporciona un método que comprende la puesta en contacto de material no calcáreo con un agente de lixiviación para crear una pulpa, y la obtención de una fracción líquida rica en calcio y una fracción sólida pobre en calcio a partir de la pulpa. Véase, p. ej., la **Figura 3**. En una modalidad preferida, el material no calcáreo comprende calcio, y el ácido es ácido

clorhídrico, y se produce una fracción líquida rica en calcio que comprende cloruro de calcio. En determinadas modalidades, el material no calcáreo comprende rocas y/o minerales, tales como una o más rocas y minerales descritos en el presente documento. En determinadas modalidades, el método comprende tratar la fracción líquida rica en calcio que comprende cloruro de calcio para producir un sólido que comprende cloruro de calcio y declorar el sólido que comprende cloruro de calcio para producir un sólido declorado que comprende compuestos de calcio. En determinadas modalidades, el sólido declorado que comprende compuestos de calcio se trata para producir clínker, que, en algunos casos, puede tratarse de manera adicional para producir un cemento, tal como un cemento de Pórtland común. Diversos parámetros de materiales y/o condiciones pueden fijarse, ajustarse y/o elegirse para producir un clínker que es procesado para obtener cemento que tenga propiedades deseadas, p. ej., propiedades de composición tales como silicatos di y/o tricálcicos y/u otros componentes en un intervalo deseado de concentraciones, etc., tal como se describe en otras partes del presente documento. La fracción sólida pobre en calcio puede separarse de la fracción líquida rica en calcio. En determinadas modalidades, los materiales iniciales no calcáreos comprenden tanto calcio como silicio, y la fracción sólida pobre en calcio comprende sílice, p. ej., sílice amorfa; la fracción sólida pobre en calcio puede tratarse de manera adicional para ser utilizada como material cementicio complementario (SCM), p. ej., mediante operaciones tales como el enjuague, el secado y el almacenamiento para su uso posterior. Véase, p. ej., la **Figura 4**. El sólido también puede someterse a un procesamiento para producir partículas de un tamaño o intervalo o intervalos de tamaños deseados. En determinadas modalidades, la fracción líquida rica en calcio que comprende cloruro de calcio comprende sales no cálcicas, tales como sales de aluminio, hierro y/o magnesio, y el tratamiento de la fracción rica en calcio comprende tratar el líquido para precipitar uno o más compuestos insolubles de aluminio, hierro o magnesio. Véase, p. ej., la **Figura 5**. El proceso de precipitación generalmente comprende al menos la puesta en contacto de la fracción líquida rica en calcio con una base, tal como una base de calcio, p. ej., una base de calcio que comprenda silicatos de calcio, tales como silicato di y/o tricálcicos; en determinadas modalidades, al menos parte de la base de calcio se proporciona a partir de operaciones posteriores, tales como decloración y/o clinkerización. En determinadas modalidades, la única etapa de precipitación es una etapa de precipitación de base. De manera alternativa, la precipitación también puede incluir una o más etapas de pirohidrólisis, que generalmente preceden a la precipitación de base, para precipitar compuestos de aluminio y/o hierro. Se puede utilizar una etapa de pirólisis de una sola etapa, en la que se pueden precipitar tanto los compuestos de aluminio como los de hierro, o se puede utilizar un proceso de pirólisis de dos etapas, donde los compuestos de aluminio se precipitan en la primera etapa y los compuestos de hierro en la segunda etapa; si se utiliza la pirólisis,

generalmente la precipitación de la base produce principalmente especies de magnesio. La pirohidrólisis de una o dos etapas puede realizarse tal como se describe en otras partes. Dependiendo de si se utiliza la pirohidrólisis y del contenido de magnesio en los materiales iniciales, p. ej., la relación Ca/Mg, se puede utilizar más o menos base, de forma tal que, si se utilizan

5 materiales de procesos finales como fuente de base, la cantidad puede ser, p. ej., 1/20 de clínker (si el material inicial es Ca:Mg 20:1) o incluso ½ de clínker (p. ej., si el material inicial es 1:1); sin embargo, el material consumido al principio del proceso se reemplaza más adelante en el proceso. Parte del HCl puede regenerarse durante las etapas de precipitación. Después de una o más etapas de precipitación, los sólidos insolubles pueden separarse del líquido rico en calcio que comprende

10 cloruro de calcio, y la fracción líquida rica en calcio se deshidrata para producir un sólido que comprenda cloruro de calcio. El sólido que comprende cloruro de calcio luego puede declorarse (véase, p. ej., la **Figura 6**), p. ej., mediante la combinación con sílice, p. ej., en una relación que proporcione una relación molar Ca:Si de 1-4, tal como 2-4, en modalidades preferidas **2,45-3,25 y, en modalidades más preferidas, 2,5-3,25**, y el calentamiento en presencia de vapor, p. ej., vapor

15 a 5-100 %vol. Parte o la totalidad de la sílice puede proceder de la fracción sólida pobre en calcio, tal como al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99 % o 100 %. Parte o la totalidad del vapor puede proceder de la etapa de deshidratación, p. ej., al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99 % o 100 %. La decloración puede realizarse en las condiciones descritas en el presente documento, para producir un sólido declorado que comprenda compuestos de calcio; el

20 sólido declorado puede contener menos de 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 o 0,1 % de Cl, preferiblemente menos de 5 %, en algunos casos más preferiblemente menos de 1 % p/p. La decloración también produce HCl, que puede reconducirse a la etapa de puesta en contacto del material no calcáreo con el ácido. El sólido declorado puede comprender uno o más silicatos cálcicos, tales como el silicato dicálcico y otros; el silicato dicálcico puede estar presente en, p. ej., al menos 1, 5, 10, 20, 30 o 40 %, tal como al menos 5 % p/p. Puede haber poco o nada de CaO presente en el sólido declorado, tal como menos de 10, 5, 3, 2 o 1 % p/p. El sólido declorado que comprende calcio puede tratarse para producir clínker, p. ej., mediante el calentamiento en presencia de fundente (véase, p. ej., la **Figura 7**), p. ej., fundente que comprende compuestos de aluminio y hierro, tales como óxidos de aluminio y hierro (que, tal como se usan en el presente documento, incluyen hidróxidos). Las

25 condiciones para producir clínker pueden ser las descritas en el presente documento. En determinadas modalidades, parte o la totalidad del fundente se proporciona a partir de la o las precipitaciones, tal como al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 o 99 % o el 100 %. En determinadas modalidades, parte o la totalidad del fundente se proporciona a partir de una o más sustancias exógenas, tales como arcilla y similares, tal como al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70,

30

80, 90, 95 o 99 % o el 100 %. El clinker producido de ese modo comprende silicatos cálcicos hidráulicos, tal como al menos silicatos dicálcicos y tricálcicos; las condiciones de las diversas etapas (p. ej., la relación Ca:Si para declorar y producir clinker, conformación de fundente para producir clinker, etc.) pueden ajustarse para producir clinker con silicatos dicálcicos y tricálcicos en las proporciones deseadas, por ejemplo, 40-70 % de silicato tricálcico (C3S), preferiblemente 50-65 %, tal como 52-63 %; y 10-35 % de silicato dicálcico (C2S), tal como 15-25 %. El clinker también puede comprender aluminato tricálcico, p. ej., al 5-12 %, y/o aluminoferrita tetracálcica (C4AF), p. ej., al 6-12 %. El proceso puede comprender además el procesamiento del clinker para producir cemento, p. ej., cemento de Pórtland, tal como OPC. El cemento producido de ese modo puede utilizarse en la producción de hormigón, p. ej., mediante la mezcla con áridos y agua y, en algunos casos, la mezcla con SCM. Los áridos y/o el SCM también pueden producirse a partir del material no calcáreo. El fraguado y el endurecimiento suelen ser similares o idénticos a los de los cementos producidos convencionalmente de la misma conformación, p. ej., los cementos producidos mediante la calcinación de piedra caliza y la posterior sinterización del producto. El procesamiento puede incluir la clasificación por tamaño, p. ej., mediante trituración, molienda o fresado y similares y filtro, y también puede incluir la adición de una o más sustancias adicionales, p. ej., yeso.

[0100] En la **Figura 11** se muestra un ejemplo de proceso que utiliza una única etapa de precipitación (precipitación de base cálcica, donde se produce parte o la totalidad de la base cálcica en el proceso). En la **Figura 12** se muestra un ejemplo de proceso que utiliza una o más precipitaciones mediante pirohidrólisis seguidas por la precipitación de base.

[0101] En determinadas modalidades, las especies insolubles de magnesio, tales como silicatos de magnesio, hidróxidos de magnesio y similares, producidas durante las etapas de precipitación del proceso anterior u otros descritos en el presente documento, pueden utilizarse para secuestrar dióxido de carbono, tal como dióxido de carbono atmosférico y/o dióxido de carbono que es un componente de gas de combustión producido en una o más etapas de combustión para producir energía para el proceso (y, en algunos casos, también secuestrar otros componentes, tales como SOx, NOx y/u otros componentes); el dióxido de carbono reacciona con las especies de magnesio para producir carbonato de magnesio. En determinadas modalidades, las especies de magnesio pueden colocarse en una masa de agua, tal como un océano, donde pueden formar bicarbonatos de magnesio, mediante lo cual se secuestra el doble de dióxido de carbono que la producción de carbonato de magnesio; también pueden producir un efecto de amortiguación.

[0102] Se apreciará que los procesos proporcionados en el presente documento pueden producir menos dióxido de carbono que los métodos convencionales de producción de cemento, que normalmente requieren la calcinación de la piedra caliza y la sinterización; la calcinación produce

dióxido de carbono a partir de la piedra caliza y tanto la calcinación como la sinterización producen dióxido de carbono a partir de la combustión del combustible para calentar los materiales. Los procesos tales como los proporcionados en el presente documento no utilizan materiales iniciales que comprendan grandes cantidades de carbonato de calcio y, de hecho, no requieren carbonato de calcio, aunque este puede estar presente en materiales no calcáreos. Dependiendo de los materiales iniciales (p. ej., los materiales con mayor contenido en magnesio pueden producir más especies de magnesio para secuestrar el dióxido de carbono) y, en particular, del combustible utilizado para proporcionar energía para las diversas etapas (calefacción, etc.), así como otros factores tales como el transporte, etc., el dióxido de carbono producido puede ser inferior al 80, 70, 60, 50, 40 o 30 % de la cantidad producida en un proceso convencional para producir la misma cantidad de cemento equivalente a partir de piedra caliza. En determinadas modalidades, un proceso tal como los que se proporcionan en el presente documento puede producir menos de 500 kg de dióxido de carbono/1000 kg de cemento producido, p. ej., si se utiliza carbón como combustible. En determinadas modalidades, un proceso tal como los que se proporcionan en el presente documento puede producir menos de 300 kg de dióxido de carbono/1000 kg de cemento producido, p. ej., si se utiliza gas natural como combustible. Si una o más especies de magnesio producidas en el proceso se utilizan para secuestrar dióxido de carbono, p. ej., del gas de combustión, de la atmósfera y/o cuando se colocan en una masa de agua, p. ej., un océano, el dióxido de carbono producido puede ser inferior a 250, 200, 150, 100 o 50 kg de dióxido de carbono/1000 kg de cemento producido. En determinadas modalidades, el proceso es neutro en carbono o incluso negativo en carbono, p. ej., al menos 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400 o 500 kg de dióxido de carbono secuestrado/1000 kg de cemento producido; generalmente se producirá un valor positivo en carbono menor o negativo en carbono mayor si las especies de magnesio se colocan en una masa de agua, tal como un océano, dado que se puede producir bicarbonato, con el secuestro de dos CO₂ por Mg. Se apreciará que la cantidad disminuida de dióxido de carbono en comparación con los procesos convencionales, o incluso el dióxido de carbono negativo, puede convertirse en créditos de carbono. Esos créditos pueden basarse en el dióxido de carbono evitado (p. ej., en comparación con un proceso convencional para producir la misma cantidad de cemento equivalente) y, en algunos casos, también en el dióxido de carbono secuestrado (p. ej., por las especies de magnesio producidas en el proceso). Se puede realizar un seguimiento/cálculo adecuado del dióxido de carbono producido frente al dióxido de carbono evitado y/o secuestrado, con salvaguardias para garantizar el cumplimiento de las normas y los reglamentos existentes.

[0103] En el presente documento se proporcionarán ejemplos de aplicación del método descrito anteriormente. Estos ejemplos muestran diferentes implementaciones potenciales del método sin

limitaciones adicionales al método. Aunque no se incluye explícitamente en todos los ejemplos, dependiendo del material no calcáreo obtenido, cualquier ejemplo puede incluir etapas de enriquecimiento adicionales (p. ej., el bloque S120) según se desee o sea necesario.

- [0104]** En un primer ejemplo, la obtención de un material no calcáreo S110 comprende la obtención de material de roca de silicato. La disolución del material no calcáreo S130 comprende la adición de un primer ácido yodhídrico (HI) como agente de lixiviación. Por lo tanto, el material de roca de silicato se disuelve en HI. La separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140 comprende la separación de la fracción sólida, principalmente SiO_2 , de la fracción líquida; y a continuación el secado y envasado de SiO_2 como SCM. A continuación, el SCM puede almacenarse y envasarse, comercializarse o utilizarse de cualquier manera deseada. La separación de los compuestos que contienen calcio de la fracción rica en calcio S140 incluye la precipitación de los compuestos que contienen metales. Esto tiene lugar mediante: la adición lenta de CaSiO_3 y la posterior adición de Ca(OH)_2 , Ca_2SiO_4 , Ca_3SiO_5 , hidróxidos producidos electroquímicamente o NaOH, o una base similar suficientemente fuerte, mediante lo cual se neutraliza el primer ácido HI; la precipitación de Al(OH)_3 , Fe(OH)_x y Mg(OH)_2 ; la formación de Ca_2 ; y la posterior reducción de la temperatura para precipitar Ca_2 y H_2O . La descomposición de los compuestos de calcio S160 y la regeneración de los agentes de lixiviación S170 se producen simultáneamente mediante la descomposición térmica de los compuestos que contienen calcio. La descomposición térmica de Ca_2 puede formar de ese modo CaO , CaSiO_3 , Ca_2SiO_4 o Ca_3SiO_5 y regenerar el primer ácido HI.
- En una implementación de producción de cemento, el primer ejemplo puede incluir además la sinterización del óxido de calcio, que comprende: en un horno, sinterizar CaO con SiO_2 , Al(OH)_3 y Fe(OH)_x , mediante lo cual se forma cemento de Pórtland común. Además, el ejemplo puede incluir la depuración del gas de combustión con Mg(OH)_2 para producir MgCO_3 . De manera adicional o alternativa, el Mg(OH)_2 puede depositarse en una pila de residuos donde pueda entrar en contacto con el aire y convertirse lentamente en MgCO_3 .

- [0105]** En un segundo ejemplo, la obtención de un material no calcáreo S110 comprende la obtención de material de roca de silicato. La disolución del material no calcáreo S130 comprende la adición de un primer ácido clorhídrico (HCl). Por lo tanto, el material de roca de silicato se disuelve en un ácido clorhídrico (HCl). La separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140 comprende la separación de la fracción sólida, principalmente SiO_2 , de la fracción líquida; y a continuación el secado y envasado de SiO_2 como un SCM, donde el SCM puede utilizarse como se desee (p. ej., para la producción de cemento, para el almacenamiento, para la comercialización). La separación de los compuestos que contienen calcio de la fracción rica en calcio S140 incluye la precipitación de los compuestos que contienen metales. Esto tiene lugar

mediante: la adición lenta de CaSiO_3 ; la adición de Ca(OH) Ca_2SiO_4 , Ca_3SiO_5 , o una base de fuerza similar, mediante lo cual se neutraliza el primer ácido HCl ; la precipitación de Al(OH)_3 , Fe(OH)_x y Mg(OH)_2 ; la formación de CaCl_2 . A continuación, se añade un agente de lixiviación, SO_2 , que precipita CaSO_3 y regenera el HCl . La descomposición de los compuestos de calcio S160 y la

5 regeneración de los agentes de lixiviación S170 se producen simultáneamente mediante la descomposición térmica de los compuestos que contienen calcio. Por lo tanto, la descomposición térmica de CaSO_3 puede formar CaO , CaSiO_3 , Ca_2SiO_4 o Ca_3SiO_5 y regenerar SO_2 . En una implementación de producción de cemento, el segundo ejemplo puede incluir además la sinterización del óxido de calcio, que comprende: en un horno, sinterizar CaO con SiO_2 , Al(OH)^3 y

10 Fe(OH)_x , mediante lo cual se forma cemento de Pórtland común. Además, el ejemplo puede incluir la depuración del gas de combustión con Mg(OH)_2 para producir MgCO_3 . De manera adicional o alternativa, el Mg(OH)_2 puede depositarse en una pila de residuos donde pueda entrar en contacto con el aire y convertirse lentamente en MgCO_3 . El ejemplo dos puede ser particularmente aplicable en implementaciones que tengan altas concentraciones de Ca(OH)_2 .

15 **[0106]** En un tercer ejemplo, la obtención de un material no calcáreo S110 comprende la obtención de material de roca de silicato. La disolución del material no calcáreo S130 comprende la adición de un primer ácido clorhídrico (HCl). Por lo tanto, el material de roca de silicato se disuelve en el primer ácido clorhídrico (HCl). La separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140 comprende la separación de la fracción sólida, principalmente SiO_2 , de la fracción

20 líquida; y a continuación el secado y envasado de SiO_2 como SCM. La separación de los compuestos que contienen calcio de la fracción rica en calcio S150 incluye la precipitación de los compuestos que contienen metales. Esto tiene lugar mediante: la adición lenta de H_2SO_4 , mediante lo cual se forma CaSO_4 y HCl ; y la adición de HCl adicional, mediante lo cual se precipitan los cloruros metálicos (p. ej., AlCl_3 , FeCl_x , MgCl_2). La descomposición de los compuestos de calcio S160 puede

25 producirse mediante la descomposición térmica de los compuestos de calcio. Es decir, el CaO y el CaSO_4 se descomponen térmicamente y se regenera SO_2 . Los agentes lixiviantes regeneradores S170 se producen mediante la descomposición térmica de los compuestos que contienen metales en presencia de agua. Es decir, se regenera AlCl_3 , FeCl_x , MgCl_2 y el primer ácido HCl . En una variación de la producción de cemento, el tercer ejemplo puede incluir además la

30 descomposición térmica de CaSO_4 con Al_2O_3 , Fe_2O_3 y SiO_2 , mediante lo cual se produce cemento de Pórtland común y SO_2 . Además, el ejemplo puede incluir la depuración del gas de combustión con Mg(OH)_2 para producir MgCO_3 . De manera adicional o alternativa, el Mg(OH)_2 puede depositarse en una pila de residuos donde pueda entrar en contacto con el aire y convertirse lentamente en MgCO_3 .

[0107] En un cuarto ejemplo, la obtención de un material no calcáreo S110 comprende la obtención de material de roca de silicato. La disolución del material no calcáreo S130 comprende la adición de un primer ácido clorhídrico (HCl). Por lo tanto, el material de roca de silicato se disuelve en el primer ácido clorhídrico (HCl). La separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140 comprende la separación de la fracción sólida, principalmente SiO_2 , de la fracción líquida; y a continuación el secado y envasado de SiO_2 como SCM. La separación de los compuestos que contienen calcio de la fracción rica en calcio S140 incluye la precipitación de los compuestos que contienen metales. Esto tiene lugar: mediante la adición lenta de NaOH, mediante lo cual se neutraliza el primer ácido y se precipita $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_x$ y $\text{Mg}(\text{OH})_2$, y se forma NaCl; la
 5
 10
 15
 20
 25
 30
 35
 40
 45
 50
 55
 60
 65
 70
 75
 80
 85
 90
 95
 100
 105
 110
 115
 120
 125
 130
 135
 140
 145
 150
 155
 160
 165
 170
 175
 180
 185
 190
 195
 200
 205
 210
 215
 220
 225
 230
 235
 240
 245
 250
 255
 260
 265
 270
 275
 280
 285
 290
 295
 300
 305
 310
 315
 320
 325
 330
 335
 340
 345
 350
 355
 360
 365
 370
 375
 380
 385
 390
 395
 400
 405
 410
 415
 420
 425
 430
 435
 440
 445
 450
 455
 460
 465
 470
 475
 480
 485
 490
 495
 500
 505
 510
 515
 520
 525
 530
 535
 540
 545
 550
 555
 560
 565
 570
 575
 580
 585
 590
 595
 600
 605
 610
 615
 620
 625
 630
 635
 640
 645
 650
 655
 660
 665
 670
 675
 680
 685
 690
 695
 700
 705
 710
 715
 720
 725
 730
 735
 740
 745
 750
 755
 760
 765
 770
 775
 780
 785
 790
 795
 800
 805
 810
 815
 820
 825
 830
 835
 840
 845
 850
 855
 860
 865
 870
 875
 880
 885
 890
 895
 900
 905
 910
 915
 920
 925
 930
 935
 940
 945
 950
 955
 960
 965
 970
 975
 980
 985
 990
 995
 1000
 1005
 1010
 1015
 1020
 1025
 1030
 1035
 1040
 1045
 1050
 1055
 1060
 1065
 1070
 1075
 1080
 1085
 1090
 1095
 1100
 1105
 1110
 1115
 1120
 1125
 1130
 1135
 1140
 1145
 1150
 1155
 1160
 1165
 1170
 1175
 1180
 1185
 1190
 1195
 1200
 1205
 1210
 1215
 1220
 1225
 1230
 1235
 1240
 1245
 1250
 1255
 1260
 1265
 1270
 1275
 1280
 1285
 1290
 1295
 1300
 1305
 1310
 1315
 1320
 1325
 1330
 1335
 1340
 1345
 1350
 1355
 1360
 1365
 1370
 1375
 1380
 1385
 1390
 1395
 1400
 1405
 1410
 1415
 1420
 1425
 1430
 1435
 1440
 1445
 1450
 1455
 1460
 1465
 1470
 1475
 1480
 1485
 1490
 1495
 1500
 1505
 1510
 1515
 1520
 1525
 1530
 1535
 1540
 1545
 1550
 1555
 1560
 1565
 1570
 1575
 1580
 1585
 1590
 1595
 1600
 1605
 1610
 1615
 1620
 1625
 1630
 1635
 1640
 1645
 1650
 1655
 1660
 1665
 1670
 1675
 1680
 1685
 1690
 1695
 1700
 1705
 1710
 1715
 1720
 1725
 1730
 1735
 1740
 1745
 1750
 1755
 1760
 1765
 1770
 1775
 1780
 1785
 1790
 1795
 1800
 1805
 1810
 1815
 1820
 1825
 1830
 1835
 1840
 1845
 1850
 1855
 1860
 1865
 1870
 1875
 1880
 1885
 1890
 1895
 1900
 1905
 1910
 1915
 1920
 1925
 1930
 1935
 1940
 1945
 1950
 1955
 1960
 1965
 1970
 1975
 1980
 1985
 1990
 1995
 2000
 2005
 2010
 2015
 2020
 2025
 2030
 2035
 2040
 2045
 2050
 2055
 2060
 2065
 2070
 2075
 2080
 2085
 2090
 2095
 2100
 2105
 2110
 2115
 2120
 2125
 2130
 2135
 2140
 2145
 2150
 2155
 2160
 2165
 2170
 2175
 2180
 2185
 2190
 2195
 2200
 2205
 2210
 2215
 2220
 2225
 2230
 2235
 2240
 2245
 2250
 2255
 2260
 2265
 2270
 2275
 2280
 2285
 2290
 2295
 2300
 2305
 2310
 2315
 2320
 2325
 2330
 2335
 2340
 2345
 2350
 2355
 2360
 2365
 2370
 2375
 2380
 2385
 2390
 2395
 2400
 2405
 2410
 2415
 2420
 2425
 2430
 2435
 2440
 2445
 2450
 2455
 2460
 2465
 2470
 2475
 2480
 2485
 2490
 2495
 2500
 2505
 2510
 2515
 2520
 2525
 2530
 2535
 2540
 2545
 2550
 2555
 2560
 2565
 2570
 2575
 2580
 2585
 2590
 2595
 2600
 2605
 2610
 2615
 2620
 2625
 2630
 2635
 2640
 2645
 2650
 2655
 2660
 2665
 2670
 2675
 2680
 2685
 2690
 2695
 2700
 2705
 2710
 2715
 2720
 2725
 2730
 2735
 2740
 2745
 2750
 2755
 2760
 2765
 2770
 2775
 2780
 2785
 2790
 2795
 2800
 2805
 2810
 2815
 2820
 2825
 2830
 2835
 2840
 2845
 2850
 2855
 2860
 2865
 2870
 2875
 2880
 2885
 2890
 2895
 2900
 2905
 2910
 2915
 2920
 2925
 2930
 2935
 2940
 2945
 2950
 2955
 2960
 2965
 2970
 2975
 2980
 2985
 2990
 2995
 3000
 3005
 3010
 3015
 3020
 3025
 3030
 3035
 3040
 3045
 3050
 3055
 3060
 3065
 3070
 3075
 3080
 3085
 3090
 3095
 3100
 3105
 3110
 3115
 3120
 3125
 3130
 3135
 3140
 3145
 3150
 3155
 3160
 3165
 3170
 3175
 3180
 3185
 3190
 3195
 3200
 3205
 3210
 3215
 3220
 3225
 3230
 3235
 3240
 3245
 3250
 3255
 3260
 3265
 3270
 3275
 3280
 3285
 3290
 3295
 3300
 3305
 3310
 3315
 3320
 3325
 3330
 3335
 3340
 3345
 3350
 3355
 3360
 3365
 3370
 3375
 3380
 3385
 3390
 3395
 3400
 3405
 3410
 3415
 3420
 3425
 3430
 3435
 3440
 3445
 3450
 3455
 3460
 3465
 3470
 3475
 3480
 3485
 3490
 3495
 3500
 3505
 3510
 3515
 3520
 3525
 3530
 3535
 3540
 3545
 3550
 3555
 3560
 3565
 3570
 3575
 3580
 3585
 3590
 3595
 3600
 3605
 3610
 3615
 3620
 3625
 3630
 3635
 3640
 3645
 3650
 3655
 3660
 3665
 3670
 3675
 3680
 3685
 3690
 3695
 3700
 3705
 3710
 3715
 3720
 3725
 3730
 3735
 3740
 3745
 3750
 3755
 3760
 3765
 3770
 3775
 3780
 3785
 3790
 3795
 3800
 3805
 3810
 3815
 3820
 3825
 3830
 3835
 3840
 3845
 3850
 3855
 3860
 3865
 3870
 3875
 3880
 3885
 3890
 3895
 3900
 3905
 3910
 3915
 3920
 3925
 3930
 3935
 3940
 3945
 3950
 3955
 3960
 3965
 3970
 3975
 3980
 3985
 3990
 3995
 4000
 4005
 4010
 4015
 4020
 4025
 4030
 4035
 4040
 4045
 4050
 4055
 4060
 4065
 4070
 4075
 4080
 4085
 4090
 4095
 4100
 4105
 4110
 4115
 4120
 4125
 4130
 4135
 4140
 4145
 4150
 4155
 4160
 4165
 4170
 4175
 4180
 4185
 4190
 4195
 4200
 4205
 4210
 4215
 4220
 4225
 4230
 4235
 4240
 4245
 4250
 4255
 4260
 4265
 4270
 4275
 4280
 4285
 4290
 4295
 4300
 4305
 4310
 4315
 4320
 4325
 4330
 4335
 4340
 4345
 4350
 4355
 4360
 4365
 4370
 4375
 4380
 4385
 4390
 4395
 4400
 4405
 4410
 4415
 4420
 4425
 4430
 4435
 4440
 4445
 4450
 4455
 4460
 4465
 4470
 4475
 4480
 4485
 4490
 4495
 4500
 4505
 4510
 4515
 4520
 4525
 4530
 4535
 4540
 4545
 4550
 4555
 4560
 4565
 4570
 4575
 4580
 4585
 4590
 4595
 4600
 4605
 4610
 4615
 4620
 4625
 4630
 4635
 4640
 4645
 4650
 4655
 4660
 4665
 4670
 4675
 4680
 4685
 4690
 4695
 4700
 4705
 4710
 4715
 4720
 4725
 4730
 4735
 4740
 4745
 4750
 4755
 4760
 4765
 4770
 4775
 4780
 4785
 4790
 4795
 4800
 4805
 4810
 4815
 4820
 4825
 4830
 4835
 4840
 4845
 4850
 4855
 4860
 4865
 4870
 4875
 4880
 4885
 4890
 4895
 4900
 4905
 4910
 4915
 4920
 4925
 4930
 4935
 4940
 4945
 4950
 4955
 4960
 4965
 4970
 4975
 4980
 4985
 4990
 4995
 5000
 5005
 5010
 5015
 5020
 5025
 5030
 5035
 5040
 5045
 5050
 5055
 5060
 5065
 5070
 5075
 5080
 5085
 5090
 5095
 5100
 5105
 5110
 5115
 5120
 5125
 5130
 5135
 5140
 5145
 5150
 5155
 5160
 5165
 5170
 5175
 5180
 5185
 5190
 5195
 5200
 5205
 5210
 5215
 5220
 5225
 5230
 5235
 5240
 5245
 5250
 5255
 5260
 5265
 5270
 5275
 5280
 5285
 5290
 5295
 5300
 5305
 5310
 5315
 5320
 5325
 5330
 5335
 5340
 5345
 5350
 5355
 5360
 5365
 5370
 5375
 5380
 5385
 5390
 5395
 5400
 5405
 5410
 5415
 5420
 5425
 5430
 5435
 5440
 5445
 5450
 5455
 5460
 5465
 5470
 5475
 5480
 5485
 5490
 5495
 5500
 5505
 5510
 5515
 5520
 5525
 5530
 5535
 5540
 5545
 5550
 5555
 5560
 5565
 5570
 5575
 5580
 5585
 5590
 5595
 5600
 5605
 5610
 5615
 5620
 5625
 5630
 5635
 5640
 5645
 5650
 5655
 5660
 5665
 5670
 5675
 5680
 5685
 5690
 5695
 5700
 5705
 5710
 5715
 5720
 5725
 5730
 5735
 5740
 5745
 5750
 5755
 5760
 5765
 5770
 5775
 5780
 5785
 5790
 5795
 5800
 5805
 5810
 5815
 5820
 5825
 5830
 5835
 5840
 5845
 5850
 5855
 5860
 5865
 5870
 5875
 5880
 5885
 5890
 5895
 5900
 5905
 5910
 5915
 5920
 5925
 5930
 5935
 5940
 5945
 5950
 5955
 5960
 5965
 5970
 5975
 5980
 5985
 5990
 5995
 6000
 6005
 6010
 6015
 6020
 6025
 6030
 6035
 6040
 6045
 6050
 6055
 6060
 6065
 6070
 6075
 6080
 6085
 6090
 6095
 6100
 6105
 6110
 6115
 6120
 6125
 6130
 6135
 6140
 6145
 6150
 6155
 6160
 6165
 6170
 6175
 6180
 6185
 6190
 6195
 6200
 6205
 6210
 6215
 6220
 6225
 6230
 6235
 6240
 6245
 6250
 6255
 6260
 6265
 6270
 6275
 6280
 6285
 6290
 6295
 6300
 6305
 6310
 6315
 6320
 6325
 6330
 6335
 6340
 6345
 6350
 6355
 6360
 6365
 6370
 6375
 6380
 6385
 6390
 6395
 6400
 6405
 6410
 6415
 6420
 6425
 6430
 6435
 6440
 6445
 6450
 6455
 6460
 6465
 6470
 6475
 6480
 6485
 6490
 6495
 6500
 6505
 6510
 6515
 6520
 6525
 6530
 6535
 6540
 6545
 6550
 6555
 6560
 6565
 6570
 6575
 6580
 6585
 6590
 6595
 6600
 6605
 6610
 6615
 6620
 6625
 6630
 6635
 6640
 6645
 6650
 6655
 6660
 6665
 6670
 6675
 6680
 6685
 6690
 6695
 6700
 6705
 6710
 6715
 6720
 6725
 6730
 6735
 6740
 6745
 6750
 6755
 6760
 6765
 6770
 6775
 6780
 6785
 6790
 6795
 6800
 68

utilización de un electrolizador para dividir agua o sal, mediante lo cual se genera un ácido en el ánodo y una base en el cátodo y la reacción del ácido con el material no calcáreo. Por lo tanto, el material de roca de silicato se disuelve en el primer ácido producido electrolíticamente, que puede consistir en iones de hidronio, HCl, HBr y cualquier ácido suficientemente fuerte. La separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140 comprende la separación de la fracción sólida, principalmente SiO_2 , de la fracción líquida; y a continuación el secado y envasado de SiO_2 como SCM. La separación de los compuestos que contienen calcio de la fracción rica en calcio S140 incluye la precipitación de los compuestos que contienen metales. Esto tiene lugar mediante: la adición lenta de base que se crea en el cátodo a través de la división del agua o la división de la sal y que puede ser iones de hidróxido, NaOH, Ca(OH)_2 o cualquier otra base suficientemente fuerte, mediante lo cual se neutraliza el primer ácido y se precipita Al(OH)_3 , Fe(OH)_x , Mg(OH)_2 y finalmente Ca(OH)_2 . En una variación de la producción de cemento, el sexto ejemplo puede incluir además la sinterización del producto de calcio, que comprende: en un horno, sinterizar CaOH_2 con SiO_2 , Al(OH)_3 y Fe(OH)_x , mediante lo cual se forma cemento de Pórtland común. Además, el ejemplo puede incluir la depuración del gas de combustión con Mg(OH)_2 y/u otros compuestos de magnesio, para producir MgCO_3 . De manera adicional o alternativa, el Mg(OH)_2 y/u otros compuestos de magnesio se colocan en una pila de residuos donde pueden entrar en contacto con el aire y convertirse lentamente en MgCO_3 .

[0110] En un séptimo ejemplo, la obtención de un material no calcáreo S110 comprende, p. ej., la obtención de minerales y/o rocas de carácter no calcáreo, p. ej., material de roca de silicato. Se puede utilizar cualquier material inicial adecuado, siempre y cuando comprenda calcio en una cantidad suficiente para proporcionar un producto final deseado, p. ej., clínker o cemento final, tal como el cemento de Pórtland. Si se utiliza un proceso que también produce material cementicio complementario (SCM), el material inicial también contendrá uno o más compuestos que pueden proporcionar un material final que comprenda compuestos amorfos (no cristalinos) que puedan servir como SCM. Estos pueden incluir sílice amorfa, en cuyo caso el material inicial también comprenderá silicio. Sin embargo, otras sustancias pueden proporcionar compuestos amorfos que sirvan como SCM, tales como compuestos amorfos de hierro y alúmina, como se sabe en la técnica; en estos casos, el material inicial incluye los elementos iniciales requeridos. En determinadas modalidades en las que se produce clínker o cemento, tal como cemento de Pórtland, y SCM, el material inicial comprende material no calcáreo, p. ej., mineral y/o roca de carácter no calcáreo que comprende calcio y silicio, tal como una roca y/o un mineral que comprende silicato de calcio. Cuando se usa roca y/o mineral, se puede usar cualquier roca y/o mineral adecuado, tal como basalto, gabro, piroxenitas, anortositas, skarns y/o anfíbolita, o una combinación de estas opciones. Otras rocas y/o

minerales adecuados son tal como se describe en el presente documento o evidentes para la persona experta en la técnica.

[0111] En general, el material no calcáreo, p. ej., roca y/o mineral se trata para proporcionar una fracción rica en calcio que comprenda una o más sales de calcio y una fracción pobre en calcio, generalmente un sólido. La fracción pobre en calcio, p. ej., sólida, puede eliminarse. En determinadas modalidades, el sólido comprende compuestos amorfos, tales como la sílice amorfa, y puede usarse como SCM. La fracción rica en calcio puede ser una solución que comprenda sales de calcio y también puede comprender sales no cálcicas, tales como Fe, Al, Mg (p. ej., cloruros de estos) y/u otras sales. En determinados casos, la naturaleza y concentración de las sales no cálcicas es tal que no se requiere un procesamiento adicional de la fracción rica en calcio, ya que su contenido puede convertirse en un producto final aceptable, p. ej., clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland. Este puede ser el caso, p. ej., si el material inicial comprende o consiste en wollastonita. En otros casos, la naturaleza y la concentración de las sales no cálcicas requieren que una o varias de ellas se eliminen de la solución. En este caso, se trata la fracción rica en calcio para reducir la concentración de sales no cálcicas, p. ej., a un nivel aceptable para la producción de un producto final, tal como un clínker o cemento final, p. ej., un producto de cemento de Pórtland. A continuación, la solución se trata para obtener la o las sales de calcio en forma sólida, y la o las sales de calcio pueden tratarse para obtener otros productos, p. ej., al descomponerse para obtener al menos silicatos dicálcicos y tricálcicos, p. ej., en proporciones adecuadas para un clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland. Uno o más de los tratamientos anteriores pueden servir para regenerar uno o más de los materiales iniciales; p. ej., si un material inicial comprende un ácido, tal como un ácido fuerte, se puede regenerar al menos una parte del ácido. El material puede tratarse de manera adicional, p. ej., para darle un tamaño o intervalo de tamaños adecuados, p. ej., para su uso como cemento de Pórtland. El proceso puede ser cualquier tipo de proceso adecuado, tal como un proceso por lotes, un proceso continuo (p. ej., que comprenda uno o más procesos a contracorriente), un proceso semicontinuo o similares, tal como se conoce en la técnica.

[0112] El material no calcáreo, p. ej., roca y/o mineral, puede procesarse para proporcionar partículas en un intervalo de tamaños deseado. Es posible utilizar uno o más procesos adecuados cualesquiera, tales como la trituración, la molienda y/o el fresado y el tamizado o similares. Los intervalos de tamaños adecuados incluyen 1-500u, 5-300u, 10-200u, 20-130u, 45-90u, o una combinación de estos. En una modalidad preferida, el intervalo de tamaños es de 20-130u. En una modalidad más preferida, el intervalo de tamaños es de 45-90u.

[0113] El material no calcáreo, p. ej., material rocoso y/o mineral, se pone en contacto con un ácido fuerte para formar una pulpa que comprenda el ácido y el material no calcáreo, p. ej., rocas

y/o minerales. Se puede utilizar cualquier ácido fuerte adecuado, tal como HCl, HBr, HI, H₂SO₄ o HNO₃. En determinadas modalidades, el ácido fuerte comprende HCl. Por conveniencia, el resto del proceso se describirá en cuanto al HCl; como será evidente para la persona experta en la técnica, si se utiliza otro ácido además o como alternativa al HCl, se pueden realizar los ajustes adecuados para adaptarse al ácido adicional/alternativo.

[0114] La disolución del material no calcáreo S130 comprende la adición de un ácido clorhídrico (HCl). Por lo tanto, el material no calcáreo, p. ej., rocas y/o minerales tales como el material de roca de silicato, se disuelve en el ácido clorhídrico (HCl). En determinadas modalidades, la proporción de ácido fuerte que comprende HCl es de al menos 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 o 99 % del ácido fuerte. En una modalidad preferida, al menos el 90 % del ácido fuerte es HCl. En una modalidad más preferida, al menos el 95 % del ácido fuerte es HCl. En una modalidad aún más preferida, al menos el 98 % del ácido fuerte es HCl. En una modalidad incluso más preferida, el 99-100 % del ácido fuerte es HCl, tal como el 100 % del ácido fuerte es HCl. Se puede utilizar cualquier concentración adecuada de ácido fuerte, p. ej., HCl, tal como 5-40 %, 10-37 %, 10-30 %, 15-35 %, 17-23 %, 20-30 % p/p, o alrededor de o exactamente 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 o 30 %, tal como alrededor de o exactamente 20 %. En modalidades preferidas, el HCl constituye el 10-37 %. En modalidades incluso más preferidas, el HCl constituye el 15-35 %. La relación de material no calcáreo sólido, p. ej., roca y/o mineral, con respecto al líquido (ácido) en la pulpa inicial puede ser cualquier relación adecuada; se apreciará que parte de la roca sólida y/o el mineral comenzará a disolverse en el ácido inmediatamente y que estas relaciones cambiarán a medida que el sólido se disuelva en la solución. Las relaciones iniciales adecuadas pueden oscilar entre 5 % de sólido/95 % de líquido y 40 % de sólido/60 % de líquido, tal como 10 % de sólido/90 % de líquido y 30 % de sólido/70 % de líquido; en una modalidad preferida, 15 % de sólido/85 % de líquido y 25 % de sólido/75 % de líquido, tal como 20 % de sólido/80 % de líquido.

[0115] La pulpa se trata para provocar la disolución de al menos una cantidad suficiente de compuestos de calcio en el material no calcáreo, p. ej., rocas y/o minerales, para que entren en solución y proporcionen un producto final satisfactorio, p. ej., para convertirlo en clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland. En determinadas modalidades, al menos el 50, 60, 70, 80, 90 o 95 % del calcio en el material inicial entra en solución, preferiblemente al menos el 70 %, más preferiblemente al menos el 80 %, incluso más preferiblemente al menos el 90 %. El tratamiento puede producirse en un proceso abierto a la atmósfera, o al menos no presurizado. El tratamiento puede incluir el calentamiento y/o mantenimiento de la pulpa en una temperatura o un intervalo de temperaturas durante un tiempo determinado. En general, se puede utilizar la duración del tratamiento y/o la temperatura para proporcionar la disolución deseada. Los intervalos de

temperatura adecuados en los que se mantiene la pulpa incluyen 60-115 °C, 70-115 °C, 80-115 °C, 90-115 °C, 100-115 °C, 60-112 °C, 70-112 °C, 80-112 °C, 90-112 °C, 100-112 °C, 60-110 °C, 80-110 °C, 90-110 °C o 100-110 °C; se apreciará que, debido a la presencia de una alta concentración de HCl y también a que el material se disuelve en la fase líquida, la temperatura de ebullición de la solución de HCl puede ser superior a 100 °C. Por lo tanto, en determinadas modalidades, la temperatura es de al menos 95, 96, 97, 98, 99 o 100 °C; en modalidades preferidas, la temperatura es de al menos 90 °C; en modalidades más preferidas la temperatura es de al menos 95 °C; en modalidades aún más preferidas, la temperatura es de al menos 98 °C; y en modalidades incluso más preferidas la temperatura es de al menos 100 °C. En determinadas modalidades, la temperatura máxima es 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114 o 115 °C; en una modalidad preferida la temperatura máxima es 105 °C; en una modalidad más preferida, la temperatura máxima es 108 °C; en una modalidad aún más preferida, la temperatura máxima es 110 °C. En determinadas modalidades, la temperatura es llevada y/o mantenida a 100-115 °C. En determinadas modalidades, la temperatura es llevada y/o mantenida a 100-110 °C. Puede utilizarse cualquier duración adecuada del tratamiento. Esto puede depender, en cierta medida, del contenido de calcio del material inicial, p. ej., mineral y/o roca de carácter no calcáreo; los materiales con menor contenido de calcio pueden requerir un tratamiento más prolongado para alcanzar la cantidad deseada de sales de calcio en solución. Por lo tanto, la duración del tratamiento puede ser de al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 o 10 horas y/o no más de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 20, 24, 30, 36, 40, 48, 60 o 72 horas. En determinadas modalidades, la duración puede ser de 2-24 horas, por ejemplo, 4-18 horas o incluso 4-12 horas o menos. En determinadas modalidades, la duración puede ser de 6-72 horas, tal como 4-48 horas, o 4-36 horas, o 4-24 horas. La pulpa puede ser agitada durante el tratamiento, por ejemplo, agitarse a 10-1000 RPM, 20-800 RPM, 50-500 RPM, 50-400 RPM o 100-300 RPM. En modalidades preferidas, la pulpa se agita a 50-400 RPM, más preferiblemente a 100-300 RPM. Se pueden utilizar otros métodos de agitación conocidos en la técnica.

[0116] A partir de la pulpa se produce una fracción pobre en calcio (sólida) y una fracción rica en calcio (líquida). Véase, p. ej., la **Figura 3**.

[0117] La separación de la fracción pobre en calcio de la fracción rica en calcio S140 comprende la separación de la fracción sólida, que puede ser principalmente SiO₂, tal como sílice amorfa, y/u otras sustancias amorfas adecuadas para el uso como SCM, p. ej., puzolanas, de la fracción líquida; y después, opcionalmente, el enjuague, el secado posterior y, en determinados casos, el envasado de la fracción sólida, p. ej., SiO₂, como un SCM. Más adelante, se proporcionarán más detalles sobre los procesos dirigidos a la producción de SCM, p. ej., puzolana. Cuando la fracción sólida comprende sílice, una parte de la fracción sólida puede dirigirse a procesos de decoloración y/o clinkerización, tal

como se describirá más adelante.

[0118] La fracción rica en calcio se trata de manera adicional; en determinadas modalidades, el resultado final del tratamiento posterior es producir clínker o cemento, p. ej., cemento hidráulico tal como el cemento de Pórtland, por ejemplo, cemento de Pórtland común (OPC) y, en general, regenerar el ácido. Además, dependiendo del tratamiento de la fracción rica en calcio, es posible generar determinadas sustancias no cálcicas, tales como sustancias que contengan una o más de los siguientes elementos: hierro, aluminio y/o magnesio. El tratamiento adicional puede depender de la composición probable de la fracción rica en calcio, que a su vez puede depender, al menos en parte, de los materiales iniciales.

[0119] En general, la fracción rica en calcio contendrá sales no cálcicas, a las que también se hacen referencia como «compuestos metálicos», además de sales de calcio, y los siguientes procedimientos pueden depender de la proporción de sales no cálcicas (compuestos metálicos) con respecto a las sales de calcio, o de la proporción esperada, que puede basarse, al menos en parte, en los materiales iniciales. Si la proporción de una o más sales no cálcicas es, o se espera que sea, superior a un umbral determinado en la fracción rica en calcio, la fracción rica en calcio puede tratarse para eliminar al menos una parte de una o más sales no cálcicas, p. ej., para reducir su nivel en la fracción rica en calcio por debajo del umbral. El umbral puede determinarse mediante, p. ej., la composición deseada del producto final, p. ej., cemento, tal como cemento hidráulico, tal como cemento de Pórtland, por ejemplo, OPC. Por ejemplo, determinadas sustancias no cálcicas, tales como los derivados de sales de magnesio, aluminio y/o hierro, pueden permitirse en un cemento hidráulico tal como cemento de Pórtland, p. ej., OPC, pero solamente por debajo de determinados niveles, dependiendo a menudo del tipo de cemento (p. ej., ASTM Tipo 1, 2, 3, 4, o 5 o una norma similar) y/o de la norma a cumplir, ya que las normas pueden variar dependiendo de la ubicación geográfica. El umbral puede basarse, al menos en parte, en los niveles esperados de sustancias derivadas de sales no cálcicas, tales como sustancias de aluminio, hierro y/o magnesio, en el clínker o cemento final tal como cemento de Pórtland, p. ej., OPC, después de un tratamiento adicional.

[0120] En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio no se trata para eliminar las sales no cálcicas. Este puede ser el caso si el material inicial es particularmente rico en compuestos de calcio; un ejemplo de material inicial de ese tipo es la wollastonita. En esos casos, el tratamiento de la fracción rica en calcio se dirige generalmente a la eliminación del agua para producir sales sólidas de calcio, y a un tratamiento posterior para convertir las sales de calcio en el producto final deseado, p. ej., clínker o cemento tal como el cemento de Pórtland. Esos tratamientos se describirán de manera adicional más adelante.

[0121] En determinadas modalidades, se trata la fracción rica en calcio para eliminar una o más

sales no cálcicas. Se puede utilizarse cualquier tratamiento o combinación de tratamientos adecuados, siempre y cuando una cantidad suficiente de sales no cálcicas se convierta en una forma que pueda separarse de la fracción rica en calcio, p. ej., se convierta en forma sólida. El tratamiento o la combinación de tratamientos también puede dar lugar a la regeneración de al menos una parte del ácido fuerte original, p. ej., HCl. No es necesario eliminar todas las sales no cálcicas, siempre y cuando la proporción que quede en solución sea inferior a la proporción umbral. En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se eleva y/o se mantiene a una o más temperaturas o intervalos de temperatura para provocar la formación de una o más sustancias insolubles no cálcicas a partir de una o más sales no cálcicas. De manera adicional o alternativa, en determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se trata con una o más sustancias, tales como una o más bases, que causan la formación de una o más sustancias insolubles no cálcicas a partir de una o más sales no cálcicas.

[0122] Por lo tanto, la fracción rica en calcio puede contener sales solubles no cálcicas, tales como sales de Al, Fe y/o Mg, a las que también se puede hacer referencia como «compuestos que contienen metales». La separación de los compuestos que contienen calcio de la fracción rica en calcio S150 incluye la precipitación de sales no cálcicas solubles (compuestos que contienen metales). En determinadas modalidades, esto comprende un proceso de descomposición térmica de una sola etapa (pirohidrólisis). En determinadas modalidades, esto comprende un proceso de descomposición térmica (pirohidrólisis) de múltiples etapas, tales como un proceso de descomposición térmica de dos etapas. En determinadas modalidades, esto comprende la adición de una base. En determinadas modalidades, se utiliza una descomposición térmica (pirohidrólisis) de una sola etapa y la adición de base. En determinadas modalidades, se utiliza una descomposición térmica (pirohidrólisis) de dos etapas y la adición de base. En determinadas modalidades, solamente se utiliza la adición de base. En general, al menos parte del ácido fuerte, p. ej., HCl, también se regenera durante el o los procesos.

[0123] En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se eleva y/o se mantiene a una temperatura o un intervalo de temperaturas (descomposición térmica o pirohidrólisis de una sola etapa), lo cual provoca la formación de un conjunto de sustancias insolubles no cálcicas, que pueden eliminarse de la fracción rica en calcio. La temperatura o el intervalo de temperaturas pueden ser aquellos en los que una o más sales no cálcicas, tales como al menos sales de hierro y aluminio, formen sustancias insolubles, p. ej., sustancias insolubles de hierro y aluminio. Otras sales no cálcicas que pueden formar sustancias insolubles son las sales de boro, litio, rubidio, cesio, estroncio, bario y/o radio. La temperatura puede ser cualquier temperatura o intervalo de temperaturas adecuado, p. ej. al menos 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175 o 180 °C y/o no más

de 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190 o 195 °C; en determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se calienta a 140-195 °C; en una modalidad preferida, la fracción rica en calcio se calienta a 140-185 °C; en una modalidad más preferida, la fracción rica en calcio se calienta hasta 150-185 °C, o incluso a 175-185 °C. En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se calienta hasta al menos 140 °C, por ejemplo, al menos 150 °C, tal como al menos 160 °C, en determinados casos al menos 170 °C. Se puede utilizar cualquier método adecuado para llevar la fracción rica en calcio a la temperatura deseada y/o mantenerla a la temperatura deseada; los métodos para calentar una solución y/o mantenerla a una temperatura o en un intervalo de temperaturas son muy conocidos en la técnica. La solución rica en calcio puede mantenerse a la temperatura deseada o cerca de ella durante un tiempo adecuado, tal como al menos 0, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7 o 10 horas, y/o no más de 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7, 10 o 15 horas. En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se mantiene a la temperatura deseada o cerca de ella durante entre 10 min y 5 horas, tal como de 30 min a 4 horas, en algunos casos de 1 a 3 horas. A medida que la fracción rica en calcio se calienta y/o se mantiene en una temperatura elevada, se expulsa el gas de HCl. Parte o la totalidad de este gas puede capturarse y disolverse en un medio acuoso para regenerar el HCl; en determinadas modalidades, el gas de HCl se captura y se devuelve a un medio acuoso, tal como una solución de HCl que se utiliza, o se utilizará, como agente de lixiviación para el tratamiento de materiales posteriores que comprendan calcio. Las sustancias insolubles generadas por la elevación de la temperatura pueden separarse de la fracción rica en calcio restante mediante cualquier método adecuado, tal como centrifugación, filtración o similares. Las sustancias insolubles pueden incluir uno o más compuestos de aluminio y/o hierro, tales como $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 , etc.

[0124] En determinadas modalidades, se utiliza un proceso de descomposición térmica en dos etapas. Esto ocurre al incorporar en primer lugar una descomposición térmica en dos etapas (pirohidrólisis en dos etapas); primero calentar la mezcla hasta una temperatura o un intervalo de temperaturas de forma tal que las sales de aluminio, p. ej., AlCl_3 , formen sustancias insolubles de aluminio, tales como $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$, etc., pero las sales de hierro, p. ej., FeCl_2 y/o FeCl_3 , no formen sustancias insolubles, tales como $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 , etc., o no formen considerablemente sustancias insolubles. En determinadas modalidades, la primera temperatura es inferior a 150, o inferior a 145, o inferior a 140 °C. En determinadas modalidades, la primera temperatura es de 130-145 °C, 131-144 °C, 132-141 °C, 133-139 °C o 135-137 °C, tal como alrededor de o exactamente 136 °C, o tal como alrededor de 140 °C. Se puede utilizar cualquier método adecuado para llevar la fracción rica en calcio a la temperatura deseada y/o mantenerla a la

temperatura deseada. La solución rica en calcio puede mantenerse a la temperatura deseada o cerca de ella durante un tiempo adecuado, tal como al menos 0, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7 o 10 horas, y/o no más de 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7, 10 o 15 horas. En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se mantiene a la temperatura deseada o cerca de ella durante entre 10 min y 5 horas, tal como de 30 min a 4 horas, en algunos casos de 1 a 3 horas. El proceso hace que el aluminio forme compuestos insolubles, p. ej., oxide el aluminio (p. ej., formando $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$, etc.). El HCl también se regenera, tal como se describió para el proceso de descomposición térmica en una sola etapa. A continuación, los compuestos de aluminio insolubles, p. ej., oxidados, pueden separarse de la solución de la fracción rica en calcio; estos pueden procesarse de manera adicional, p. ej., secarse. La solución restante se lleva entonces a una segunda temperatura o un segundo intervalo de temperaturas en las que una o más sales no cálcicas, tales como al menos sales de hierro, formen sustancias insolubles, p. ej., $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 , etc. La temperatura puede ser cualquier temperatura o intervalo de temperaturas adecuado, p. ej., al menos 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175 o 180 °C y/o no más de 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190 o 195 °C; en determinadas modalidades, la solución restante se calienta hasta 140-195 °C; en una modalidad preferida, la solución restante se calienta hasta 150-190 °C; en una modalidad más preferida, la solución restante se calienta hasta 175-185 °C. En determinadas modalidades, la solución restante se calienta hasta al menos 145 °C, tal como al menos 170 °C, en determinados casos al menos 175 °C, por ejemplo, una segunda etapa de calentamiento hasta aproximadamente 180 °C. Se puede utilizar cualquier método adecuado para llevar la fracción rica en calcio a la temperatura deseada y/o mantenerla a la temperatura deseada. La solución rica en calcio puede mantenerse a la temperatura deseada o cerca de ella durante un tiempo adecuado, tal como al menos 0, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7 o 10 horas, y/o no más de 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 o 50 min o 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7, 10 o 15 horas. En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se mantiene a la temperatura deseada o cerca de ella durante entre 10 min y 5 horas, tal como de 30 min a 4 horas, en algunos casos de 1 a 3 horas. Esta temperatura sirve para provocar la formación de compuestos de hierro insolubles, p. ej., oxidar el hierro (p. ej., formar $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 , etc.) y regenerar simultáneamente el primer ácido de HCl como en la primera etapa de calentamiento. A continuación, el Fe insoluble, p. ej., Fe oxidado, puede separarse de la solución de la fracción rica en calcio; después puede seguir procesándose, p. ej., secarse.

[0125] En determinadas modalidades, la fracción rica en calcio se trata con una o más bases, lo cual provoca la formación de un conjunto de sustancias insolubles no cálcicas, que pueden

eliminarse de la fracción rica en calcio. El HCl también puede regenerarse durante la adición de la base. En determinadas modalidades, este es el único proceso utilizado para provocar la formación de sustancias insolubles no cálcicas (compuestos metálicos precipitantes). En determinadas modalidades, se utiliza un proceso de descomposición térmica de una sola etapa y la adición de base. En determinadas modalidades, se utiliza un proceso de descomposición térmica de dos etapas y la adición de base. La o las bases pueden ser cualquier base o bases adecuadas, siempre y cuando la fuerza y la cantidad de la base o bases sean suficientes para precipitar una cantidad deseada de compuestos metálicos. En determinadas modalidades, la base comprende base de calcio. En determinadas modalidades, la o las bases comprenden una o más sustancias producidas en el proceso, tal como una base de calcio, p. ej., CaO , Ca(OH)_2 o CaSi tal como silicato dicálcico y/o tricálcico. En determinadas modalidades, al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 o 95 % de la o las bases comprende uno o más productos obtenidos en el proceso, tal como una base de calcio, p. ej., CaO , Ca(OH)_2 o CaSi tal como silicato dicálcico y/o tricálcico. En determinadas modalidades, el 100 % de la o las bases comprende uno o más productos obtenidos en el proceso, tal como una base de calcio, p. ej., CaO , Ca(OH)_2 o CaSi tal como silicato dicálcico y/o tricálcico. Una parte o la totalidad de la base añadida puede regenerarse en etapas adicionales del proceso, p. ej., la descomposición de la sal de calcio que produce, p. ej., CaO , silicatos dicálcicos y/o silicatos tricálcicos. En determinadas modalidades, la base se añade a la fracción rica en calcio en un proceso de una sola etapa para precipitar todos los compuestos deseados, p. ej., para precipitar los compuestos de Al, Fe y Mg. En determinados procesos, la base se añade después de que se hayan precipitado algunas de las sales no cálcicas (compuestos metálicos), p. ej., mediante un proceso de descomposición térmica en una o en dos etapas; en esos casos, se añade suficiente base para precipitar los compuestos metálicos restantes o una parte de estos (p. ej., los compuestos de Fe y Mg restantes, o los compuestos de Mg restantes, o partes de estos). En determinadas modalidades, se añade base para precipitar los compuestos de Mg. El precipitado puede incluir uno o más compuestos de magnesio, tales como Mg(OH)_2 , silicato de magnesio hidratado, silicato de alúmina de magnesio y/u otros compuestos de magnesio. El precipitado puede separarse de la fracción rica en calcio restante mediante cualquier método adecuado, por ejemplo, los métodos descritos en el presente documento. El precipitado puede tratarse de manera adicional, p. ej., mediante secado. El precipitado de magnesio puede utilizarse para la reacción con dióxido de carbono, p. ej., dióxido de carbono en un gas de combustión, tal como un gas de combustión producido como parte de un proceso para proporcionar energía para el proceso global (p. ej., un gas de combustión de gas natural o carbón); y/o para la reacción con el dióxido de carbono atmosférico, y/u otra fuente de dióxido de carbono, tal como un dióxido de carbono en una masa de agua, p. ej., un océano, para

producir productos de magnesio-dióxido de carbono tales como MgCO_3 (y/o, en el caso de una masa de agua, bicarbonatos), mediante lo cual se secuestra el dióxido de carbono. La cantidad de dióxido de carbono secuestrada de ese modo puede reducir la cantidad total de dióxido de carbono producida mediante el proceso total, en algunos casos lo suficiente como para que el proceso total sea neutro en carbono o incluso negativo en carbono. Además, se puede hacer reaccionar otras sustancias presentes en un gas de combustión, p. ej., sustancias que deben eliminarse del gas de combustión, tales como SO_x y/o NO_x , con el precipitado de Mg, reduciendo en algunos casos el nivel de una o más de las sustancias por debajo de los niveles requeridos para el gas de combustión liberado a la atmósfera. De manera adicional o alternativa, el precipitado de magnesio puede secuestrar dióxido de carbono de la atmósfera; para ello puede utilizarse cualquier disposición adecuada. En determinadas modalidades, el precipitado de magnesio, opcionalmente procesado para aumentar el área superficial, puede simplemente colocarse en una pila, esparcirse en el suelo en una capa, o distribuirse de otra manera adecuada, y dejar que secuestre el dióxido de carbono atmosférico durante cualquier período de tiempo adecuado, que puede durar días, semanas, meses, un año o más de un año.

Reducción de la producción de dióxido de carbono

[0126] Por lo tanto, el proceso de producción de clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y/o SCM tal como se describe en el presente documento no da lugar a tanta producción de dióxido de carbono como los procesos convencionales; de hecho, en determinadas modalidades, un proceso tal como se describe en el presente documento puede ser negativo en carbono. El clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y/o SCM producido mediante un proceso descrito en el presente documento puede utilizarse como clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y/o el SCM se utiliza normalmente, p. ej., en hormigón, mortero, estuco, lechada, y similares. Dado que los procesos descritos en el presente documento producen menos dióxido de carbono que los procesos tradicionales de producción de cemento de Pórtland, y en algunos casos pueden incluso ser negativos en carbono, el reemplazo de parte o la totalidad del clínker o cemento convencional, p. ej., cemento de Pórtland, con clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland producido mediante un proceso tal como se describe en el presente documento puede dar lugar a la reducción de la huella de carbono del hormigón u otro producto; de hecho, en determinados casos, el hormigón puede incluso ser negativo en carbono. Lo mismo puede decirse del SCM. En las modalidades en las que el clínker o el cemento, p. ej., el cemento de Pórtland, el SCM y, en algunos casos, los áridos, se producen en un lugar y se mezclan para formar hormigón en ese mismo lugar, se consigue otro ahorro de carbono debido a la reducción (o ausencia) del transporte de los diversos componentes.

Dado que la cantidad de dióxido de carbono evitado y/o secuestrado mediante el uso de clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y/o SCM producido en un proceso descrito en el presente documento en lugar de clínker o cemento estándar, p. ej., cemento de Pórtland y/o SCM puede calcularse, en función de entradas y salidas y similares, tal como se conoce en la técnica, se puede obtener un crédito de carbono en función del dióxido de carbono evitado/secuestrado. Por lo tanto, en el presente documento se proporciona un método para obtener créditos de carbono que comprende la realización de uno o más de los procesos descritos en el presente documento para producir clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y, en algunos casos, SCM y el uso del clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y, en algunos casos, SCM como reemplazo del clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y, en algunos casos, SCM, producidos mediante métodos convencionales, la evaluación del dióxido de carbono producido y consumido en el o los procesos descritos en el presente documento, la determinación de una cantidad de dióxido de carbono evitado y/o secuestrado en comparación con el hormigón producido con clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y, en algunos casos, SCM mediante métodos convencionales, y la obtención de créditos de carbono en función de la cantidad.

[0127] En determinadas modalidades en las que se utiliza un proceso de descomposición térmica de una o dos etapas, la precipitación de los compuestos metálicos puede comprender luego la adición de una base, p. ej., tal como se describió anteriormente, tal como una base de calcio (p. ej., CaO , Ca(OH)_2 o CaSi), mediante lo cual se precipita el magnesio de la fracción rica en calcio, mediante lo cual se dejan atrás de manera eficaz solamente compuestos de calcio, o compuestos de calcio con compuestos metálicos en un nivel lo suficientemente bajo como para que sea aceptable en uno o más productos finales del proceso. Se puede regenerar más HCl durante la etapa de precipitación de la base.

[0128] En general, la fracción rica en calcio después de la eliminación de los compuestos metálicos será muy alta en cloruro de calcio, p. ej., al menos 90 %, en algunos casos al menos 95 % o incluso al menos 99 % de cloruro de calcio. La fracción rica en calcio normalmente presentará también una concentración alta, p. ej., de CaCl_2 al 40 %/agua al 60 % de agua a CaCl_2 al 70 %/agua al 30 %, o de 50 %/50 % a 60 %/40 %, o incluso de 55 %/45 % a 60 %/40 %.

[0129] Ya sea que se produzcan mediante una fase de disolución ácida, una descomposición térmica de una etapa, una descomposición térmica de dos etapas, una adición de base o cualquier combinación adecuada de estas, los compuestos de calcio resultantes que permanecen en la fracción rica en calcio pueden someterse a un tratamiento que produzca uno o más productos adicionales, p. ej., clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland. Esto puede implicar la eliminación de agua de la fracción rica en calcio restante que contiene los compuestos de calcio para

proporcionar un sólido con alto contenido de calcio que comprenda el o los compuestos de calcio, p. ej., una o más sales de calcio, p. ej., CaCl_2 , y el tratamiento del sólido, p. ej., para convertirlo en productos de calcio declorados y, por ende, en clínker, p. ej., clínker para la producción de cemento de Pórtland, que comprenda silicato dicálcico y silicato tricálcico.

5 **[0130]** El agua puede eliminarse de la fracción rica en calcio mediante cualquier método adecuado, p. ej., calentándola para evaporar el agua en forma de vapor; una parte o la totalidad del vapor resultante puede utilizarse en otros procesos que requieran vapor, tal como se describirá más adelante. El sólido compuesto de calcio resultante comprende una o más sales de calcio, p. ej., CaCl_2 , y también se denomina en el presente documento como un «sólido que comprende cloruro de calcio» y puede comprender además sales no cálcicas, p. ej., sales de hierro, aluminio y/o magnesio, y/u otras sales, siempre y cuando no estén presentes en cantidades que hagan que el producto final sea inadecuado para su uso previsto, p. ej., como clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland y/o interfieran con un proceso para producir el clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland.

15 **[0131]** El sólido compuesto de calcio (el sólido que comprende cloruro de calcio) puede tratarse para producir partículas del tamaño deseado para su tratamiento posterior, p. ej., mediante laminación, molienda u otro método adecuado. A continuación, puede tratarse para descomponer los compuestos que contienen calcio, p. ej., en CaO y/u otros productos declorados que contengan calcio y regenerar HCl ; para producir clínker, p. ej., clínker para cemento de Pórtland, esto puede calentarse de manera adicional en presencia de fundente, p. ej., un fundente que proporcione Si, Fe y Al (sinterización) para producir clínker, que pueda tratarse de manera adicional para producir cemento, p. ej., cemento de Pórtland.

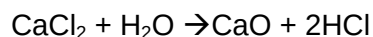
[0132] En determinadas modalidades, el sólido compuesto de calcio (sólido que comprende cloruro de calcio) se calienta en presencia de vapor, sílice y, opcionalmente, fundente exógeno, tal como fundente exógeno que contiene aluminio, p. ej., $\text{Al}(\text{OH})_3$ y/o hierro, p. ej., $\text{Fe}(\text{OH})_x$. Generalmente, el fundente no es necesario, pero puede añadirse en esta etapa por comodidad. En determinadas modalidades, parte o la totalidad de la sílice, p. ej., al menos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 98, 99 % de la sílice, o el 100 % de la sílice, es sílice producida a partir de materiales no calcáreos, p. ej., minerales y/o rocas de carácter no calcáreo, por ejemplo, en una etapa anterior del proceso, p. ej., la producción de SCM (puzolana) tal como se describe en el presente documento. En determinadas modalidades, parte o la totalidad del fundente exógeno, p. ej., al menos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 98, 99 % del fundente, o el 100 % del fundente, son óxidos de hierro y aluminio, hidróxidos, y potencialmente otros compuestos adecuados, producidos a partir de minerales y/o rocas de carácter no calcáreo, por ejemplo, en una etapa anterior del proceso, p. ej.,

precipitados como sales insolubles a partir de una fracción rica en calcio, tal como se describe en el presente documento. Se apreciará que el sólido compuesto de calcio (el sólido que comprende cloruro de calcio) puede comprender una o más sustancias que pueden actuar como fundente, pero, en general, es preferible añadir fundente exógeno. El calentamiento puede realizarse en una sola etapa, a una temperatura suficientemente alta para descomponer el sólido que contiene calcio y clínker, p. ej., sinter, dando como resultado compuestos con fundente. En un caso más simple, el sólido de compuesto de calcio se calienta en presencia de vapor a una temperatura suficientemente alta para descomponer los compuestos de calcio, producir HCl y calentar, p. ej., sinterizar, con fundente endógeno hasta una temperatura suficientemente alta para producir clínker. En modalidades preferidas, el calentamiento puede realizarse en dos o más etapas a temperaturas sucesivamente más altas, y el fundente exógeno, si se utiliza, puede estar presente en la totalidad o solamente una parte de las etapas (p. ej., calentamiento, por ejemplo, clinkerización, tal como sinterización).

[0133] Tal como se mencionó anteriormente, el sólido compuesto de calcio (el sólido que comprende cloruro de calcio) comprende cloruro de calcio; en determinadas modalidades, comprende al menos 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 92, 95, 96, 97, 98 o 99 % de cloruro de calcio, tal como al menos 90 %; en algunos casos, al menos 95 %. El proceso de descomposición tiene como resultado la decloración del cloruro de calcio en el sólido, p. ej., la decloración de al menos el 80, 90, 95, 96, 97, 98, 99, 99,1, 99,5, 99,9, 99,91, 99,95 o 99,99 % del cloruro de calcio del sólido, es decir, se expulsa esa cantidad de cloruro del material inicial, preferiblemente al menos el 90 %, más preferiblemente al menos el 95 %, incluso más preferiblemente al menos el 99 %. Sorprendentemente, se ha descubierto que al menos el 99 %, 99,5 %, 99,9 % o incluso el 99,95 % del cloruro de calcio puede declorarse, y estos niveles de decloración hacen que el contenido de cloruro del producto final sea lo suficientemente bajo como para cumplir con las normas para el cemento de Pórtland, p. ej., menos del 1 %, o menos del 0,1 % de cloruro, sin tratamiento adicional. En una modalidad preferida, al menos el 99 % del cloruro de calcio del sólido está declorado; en una modalidad más preferida, al menos el 99,9 % del cloruro de calcio del sólido está declorado; en una modalidad incluso más preferida, al menos el 99,95 % del cloruro de calcio en el sólido está declorado.

[0134] En determinadas modalidades, el sólido compuesto de calcio (el sólido que comprende cloruro de calcio), se calienta hasta una o más temperaturas o intervalos de temperaturas en presencia de vapor, donde la o las temperaturas o los intervalos de temperaturas son suficientes para conducir el gas de cloro fuera del sólido; el gas de cloro se combina con protones del vapor para regenerar HCl, que puede reciclarse tal como se describió anteriormente. Al mismo tiempo, el

cloruro de calcio se convierte en compuestos cálcicos declorados, que pueden incluir o no óxido de calcio. Una reacción general puede ser



[0135] De manera más general, las reacciones pueden representarse como:



[0136] Es posible formar compuestos intermedios, tales como cloruro de silicato de calcio, compuestos de cloruros de silicato de aluminio y calcio, y otros, y cuando el proceso alcanza temperaturas más altas, se puede formar silicato mono y dicálcico. El CaO puede estar presente, aunque no necesariamente. Por lo tanto, en determinadas modalidades, el proceso produce un
10 producto que comprende silicato dicálcico en una cantidad de al menos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 u 80 %p, en algunos casos al menos 30 %, tal como al menos 50 %, al tiempo que comprende menos de 30, 20, 15, 12, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 o 1 %p de CaO, en algunos casos menos de 10 %, tal como menos de 5 %. Por lo general, el producto de la decloración contendrá poco o nada de silicato tricálcico, tal como menos del 20, 15, 10, 5, 3, 2, 1, 0,5 o 0,1 %, por ejemplo, menos del 5 %. En determinadas modalidades, se forma un producto que comprende
15 al menos 30 % de silicato dicálcico y menos de 10 % de CaO, y en algunos casos comprende menos de 0,5 % de silicato tricálcico. Este producto puede tratarse de manera adicional para producir clínker.

[0137] Por lo tanto, en determinadas modalidades, se proporciona un proceso para producir
20 clínker, tal como clínker que se puede convertir en cemento tal como cemento de Pórtland, donde el proceso comprende 1) proporcionar una composición que comprende silicato dicálcico, por ejemplo, en una cantidad de al menos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 u 80 %p, en algunos casos al menos 30 %, tal como al menos 50 %, mientras que comprende menos de 30, 20, 15, 12, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 o 1 %p de CaO, en algunos casos menos de 10 %, tal como menos
25 de 5 %, p. ej., una composición que comprende al menos 30 % de silicato dicálcico y menos de 10 % de CaO; en modalidades preferidas, la composición comprende poco o nada de silicato tricálcico, tal como menos del 5 % o menos del 1 %, incluso menos del 0,5 %; y 2) tratar la composición en condiciones que produzcan un clínker (clinkerización), p. ej., un clínker que puede procesarse para obtener cemento de Pórtland, p. ej., OPC. En determinadas modalidades, el proceso de la etapa 2)
30 comprende calentar la composición, p. ej., hasta una temperatura de 1200-1600 °C, en presencia de fundente que comprenda compuestos de aluminio y/o hierro, tales como óxidos de aluminio y/o hierro, tal como se describirá más detalladamente a continuación. Parte o la totalidad del fundente puede producirse en el proceso que produce la composición de la etapa 1). El clínker resultante comprende silicato tricálcico, p. ej., al menos en un 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 o 60 % p/p, en

modalidades preferidas al menos en un 50 %.

[0138] Aunque es posible realizar la descomposición y la clinkerización a una temperatura, es preferible realizar la descomposición y la clinkerización en un proceso de múltiples etapas a temperaturas sucesivamente más altas, donde el material puede mantenerse a una temperatura determinada durante un período determinado, p. ej., 0,5-5 horas, o 0,75-4 horas, o 1-3 horas, por ejemplo, 1, 2, o 3 horas. Esto mejora la eficiencia y el rendimiento de la decloración, y el proceso alcanza niveles sorprendentemente altos de decloración, tal como se describió en otras partes. De manera adicional o alternativa, la temperatura puede incrementarse gradualmente de una temperatura a la siguiente. El calentamiento puede realizarse en cualquier sistema adecuado, tal como un lecho fluidizado o un horno; en una modalidad preferida, el calentamiento se realiza en un horno, tal como un horno giratorio.

[0139] Por lo tanto, en el presente documento se proporciona un método para declorar cloruro de calcio que comprende calentar el cloruro de calcio en presencia de vapor, sílice y, opcionalmente, un fundente que comprende compuestos de hierro y/o aluminio, tales como uno o más de los compuestos de hierro y/o aluminio descritos en el presente documento, hasta una primera temperatura, luego 1) mantener el cloruro de calcio y otros componentes a la primera temperatura durante un primer período para producir un primer conjunto de uno o más productos que comprendan al menos HCl y eliminar el HCl; calentar el primer conjunto restante de uno o más productos hasta una segunda temperatura, en presencia de vapor, hasta una segunda temperatura más elevada, y mantener el o los productos y el vapor a una segunda temperatura para producir un segundo conjunto de uno o más productos que comprenda HCl, y eliminar el HCl; opcionalmente, etapas adicionales de calentamiento hasta, p. ej., una tercera temperatura y, luego, en determinadas modalidades, incluso una cuarta temperatura, y mantener durante un determinado período cada temperatura para producir un conjunto de productos, uno de los cuales sea HCl; las temperaturas, los compuestos de aluminio y/o hierro, la sílice y las duraciones pueden ser los descritos; o 2) calentar gradualmente el cloruro de calcio y otros componentes desde una primera temperatura hasta una segunda temperatura más alta, donde la velocidad de calentamiento es suficientemente lenta para permitir un grado deseado de, p. ej., producción máxima de HCl; de forma tal que el cloruro de calcio esté declorado al menos en un 95 %, en una modalidad preferida, declorado al menos en un 99,9 %, en una modalidad más preferida, declorado al menos en un 99,95 %, para producir un producto de calcio declorado.

[0140] En determinadas modalidades se proporciona una composición sólida que comprende 1) un sólido que comprende cloruro de calcio, p. ej., al menos 50, 60, 70, 80, 90 o 95 % de cloruro de calcio, tal como al menos 90 %, en modalidades preferidas al menos 95 % de cloruro de calcio;

2) un sólido que comprende sílice, p. ej., al menos 50, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 o 95 % de sílice, tal como al menos 60 %, preferiblemente al menos 75 %, más preferiblemente al menos 80 %; y, opcionalmente, 3) un fundente que comprende uno o más compuestos de hierro, por ejemplo, uno o más de los siguientes: $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 y/o uno o más compuestos de aluminio, por ejemplo, uno o más de los siguientes: $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$. En determinadas modalidades, el sólido que comprende cloruro de calcio comprende al menos 80 % de cloruro de calcio y el sólido que comprende sílice comprende al menos 60 % de sílice. En determinadas modalidades, el sólido que comprende cloruro de calcio comprende al menos 90 % de cloruro de calcio y el sólido que comprende sílice comprende al menos 80 % de sílice. En general, los sólidos se combinan de forma tal que la relación molar Ca-Si sea de entre 2,5 y 3,25. La composición puede tener los componentes en proporciones (%p) tales como 50-90 % de cloruro de calcio sólido; 10-40 % de sílice sólida; 0-4 % de compuestos de hierro que sirvan como fundente, si se usan; 0-4 % de compuestos de aluminio que sirvan como fundente, si se usan. En una modalidad preferida, las proporciones son 60-85 % de cloruro de calcio sólido; 15-30 % de sílice sólida; 1-3 % de compuestos de hierro que sirvan como fundente, si se usan; 1-3 % de compuestos de aluminio que sirvan como fundente, si se usan. En una modalidad más preferida, las proporciones son 70-80 % de cloruro de calcio sólido; 15-25 % de sílice sólida; 1-2 % de compuestos de hierro que sirvan como fundente, si se usan; 1-2 % de compuestos de aluminio que sirvan como fundente, si se usan. En determinadas modalidades, todos los componentes proceden de una única fuente, p. ej., una única fuente que comprende minerales y/o rocas de carácter no calcáreo. En determinadas modalidades, la composición que comprende un sólido que comprende cloruro de calcio y un sólido que comprende sílice se produce mediante un proceso descrito en el presente documento, p. ej., el tratamiento de materiales iniciales no calcáreos mediante disolución ácida y procesamiento adicional para producir el sólido que comprenda cloruro de calcio, y la adición al sólido que comprenda cloruro de calcio de un sólido que comprenda sílice, en una relación deseada, tal como una relación molar Ca-Si entre 2,5 y 3,25. El sólido que comprende sílice puede ser cualquier sólido adecuado; en determinadas modalidades, parte o la totalidad del sólido se produce en el proceso que produce el sólido que comprende cloruro de calcio, p. ej., como un sólido pobre en calcio procedente de la etapa de disolución ácida.

[0141] Es preferible calentar y mantener el sólido compuesto de calcio y/o calentarlo de manera gradual en presencia de vapor y, generalmente, sílice y, opcionalmente, fundente, hasta una primera temperatura, tal como una primera temperatura que sea la temperatura a la que se puede manipular el HCl de acuerdo con la metodología conocida en la técnica. En determinadas modalidades, el sólido se calienta hasta no más de 1250 °C, p. ej., 750-1250 °C, 800-1250 °C, en determinados

casos 850-1000 °C, en algunos casos 900-1250 °C, preferiblemente 1000-1250 °C, incluso más preferiblemente 1100-1250 °C en presencia de vapor, sílice y, opcionalmente, compuestos que contengan aluminio y hierro, para producir HCl y un producto de calcio declorado. La mezcla sólida puede calentarse rápidamente hasta 700-750 °C. Cuando la temperatura alcance 700, 705, 710, 715, 720, 730, 740 o 750 °C, preferiblemente 700 °C o 720 °C, el calentamiento generalmente debe proceder a una velocidad de no más de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70 o 100 °C por minuto, preferiblemente no más de 30, incluso más preferiblemente no más de 20, y aún más preferiblemente no más de 10 °C/min, hasta que la temperatura alcance 800, 850, 900, 950 o 1000 °C, preferiblemente 1000 °C. Sin imponer limitaciones teóricas, se piensa que en el intervalo de ~700-~1000 °C, el cloruro de calcio puede fundirse, lo que es indeseable y puede reducir la cantidad de cloro expulsado, y mantener el calentamiento a una velocidad controlada puede, en cambio, favorecer las reacciones entre el calcio y la sílice y producir HCl para obtener productos que permitan expulsar más cloro. El proceso puede mantenerse a una o más temperaturas («inmersión») durante un período de 1-180 min, tal como 5-120 min, p. ej., 10-120 min. En el Ejemplo 4 se proporcionan ejemplos de temperaturas y tiempos de inmersión; sin embargo, estos son simplemente ilustrativos. De manera adicional o alternativa, la temperatura puede aumentar de manera continua, con una velocidad constante o variable. Esos ajustes pueden determinarse mediante experimentos de rutina. El vapor puede estar presente en cualquier concentración adecuada, tal como 5-100 %vol. El flujo de vapor puede iniciarse cuando $T > 300\text{ °C}$

[0142] El sólido puede calentarse en cualquier forma y sistema adecuados; p. ej., lecho fluidizado u horno. En esta y otras etapas, la sílice puede estar presente en cualquier proporción adecuada con respecto al compuesto de calcio, p. ej., CaCl_2 ; por ejemplo, una muestra de 100-105 g puede contener ~80 gm de CaCl_2 , ~20 gm de sílice y, opcionalmente, ~1-3 gm de cada uno de los compuestos de aluminio y hierro. Esto es simplemente ilustrativo y se apreciará que las relaciones de los diversos componentes pueden variar de acuerdo con las normas para el tipo de cemento de Pórtland a producir, como es evidente para la persona experta en la técnica, p. ej., una mayor proporción de calcio a sílice puede generar un producto final con mayor proporción de C3S en comparación con C2S.

[0143] El producto de calcio declorado (en algunos casos, el producto que contiene CaO, pero en otros casos comprende poco o nada de CaO) luego puede calentarse a una segunda temperatura y, opcionalmente, luego a una tercera temperatura, en algunos casos luego también a una cuarta temperatura, generalmente también en presencia de vapor a una o más temperaturas inferiores, sílice o compuestos formados a partir de sílice y calcio, y, opcionalmente, compuestos de aluminio y/o hierro que sirvan como fundente; a una o más de las temperaturas, p. ej., temperaturas

superiores, puede no estar presente el vapor. Por lo tanto, el producto de calcio declorado (p. ej., producto que contiene CaO o que no contiene CaO) se clinkeriza, es decir, produce clínker (en algunos casos, se sinteriza), p. ej., en presencia de sílice y, opcionalmente, fundente, tal como fundente que contiene aluminio y/o hierro, para producir clínker, tal como clínker de cemento de Pórtland. El fundente puede incluir materiales producidos en una etapa anterior del proceso, p. ej., compuestos de aluminio y/o hierro eliminados de la fracción rica en calcio, tal como se describió anteriormente. En determinadas modalidades, al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 o 95 % del fundente exógeno que contiene aluminio y/o hierro comprende uno o más compuestos eliminados de la fracción rica en calcio, tal como al menos el 50 %, en algunos casos al menos el 70 % y, en determinadas modalidades, al menos el 90 %. En determinadas modalidades, el 100 % del fundente exógeno que contiene aluminio y/o hierro comprende uno o más compuestos extraídos de la fracción rica en calcio. La presencia o no de fundente exógeno y, en caso afirmativo, en qué cantidad, puede determinarse, al menos en parte, según la composición final deseada, p. ej., el tipo de clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland que se esté produciendo. En determinadas modalidades, se utiliza un fundente que comprende compuestos que contienen hierro y aluminio.

[0144] Si solamente se utiliza una segunda temperatura, el proceso implica calentar el producto cálcico declorado (en algunos casos, el producto que contiene CaO, pero en otros casos comprende poco o nada de CaO) hasta 1200-1550 °C, preferiblemente no más de 1450 °C, en presencia de sílice y, opcionalmente, un fundente, mediante lo cual se forma clínker de cemento de Pórtland que comprende silicato dicálcico y silicato tricálcico; en algunos casos, el clínker también comprende aluminato tricálcico y/o aluminoferrita tetracálcica. Si se utilizan temperaturas intermedias, una temperatura puede ser, p. ej., 900-1100 °C, tal como 950-1050 °C; una temperatura puede ser, p. ej., 1100-1300 °C, tal como 1150-1250 °C; una temperatura puede ser, p. ej., 1400-1600 °C, tal como 1450-1550 °C. En un ejemplo de modalidad, las temperaturas son, sucesivamente, 850, 1000, 1200 y 1500 °C, mantenidas durante 1 hora cada una. Estos son simples ejemplos, y la persona experta en la técnica puede seleccionar las temperaturas y duraciones óptimas mediante experimentos de rutina.

[0145] Durante los procesos de calentamiento, se puede regenerar la base, p. ej., una o más bases cálcicas, que puede haberse utilizado en una etapa de precipitación de la base, p. ej., se puede regenerar al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90, 95, 98 o 99 % de la cantidad de base utilizada en una etapa de precipitación de la base.

[0146] Al final del proceso, puede quedar clínker, donde el clínker puede tener un diámetro de milímetros, p. ej., 0,5-50 mm, o 1-40 mm, o 1-30 mm; sin embargo, otros tamaños son aceptables para su procesamiento adicional.

[0147] En determinadas modalidades, se proporciona un método de producción de un clínker a partir de un sólido que comprende cloruro de calcio, donde el método comprende declorar el sólido que comprende CaCl_2 para producir una composición declorada que comprenda Ca y tenga menos del 10 % p/p de Cl; y calentar la composición declorada en presencia de un fundente para producir un clínker, tal como un clínker para producir cemento de Pórtland, p. ej., un clínker que comprenda silicato dicálcico y tricálcico.

[0148] En determinadas modalidades, en el presente documento se proporciona un método para producir clínker que comprende calentar una composición que comprende silicato dicálcico y no más de 20, 15, 10, 5, 2 o 1 % de CaO, tal como no más de 10 % de CaO, en presencia de fundente para producir clínker. La composición puede contener menos de 5, 4, 3, 2, 1, 0,5 o 0,1 % de silicato tricálcico y el clínker comprende al menos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 o 60 % de silicato tricálcico. El fundente puede comprender óxidos de aluminio y/o de hierro.

[0149] Un método para producir clínker y material cementicio complementario (SCM) a partir de un material inicial que comprende un material no calcáreo que contiene calcio y silicio, que comprende (i) disolver el material no calcáreo en HCl para producir una fracción líquida rica en calcio que comprenda cloruro de calcio y una fracción sólida pobre en calcio que comprenda sílice; (ii) producir el SCM a partir de la fracción sólida pobre en calcio que comprenda sílice; y (iii) producir clínker a partir de la fracción líquida rica en calcio que comprenda cloruro de calcio.

[0150] El clínker, p. ej., el clínker de cemento de Pórtland, puede procesarse de manera adicional, p. ej., tratarse para crear partículas en un intervalo de tamaños deseado, en combinación con sulfato de calcio, y similares.

[0151] Al final de todas las etapas de regeneración del ácido, p. ej., la regeneración del HCl, se puede regenerar al menos el 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90, 95, 98 o 99 % del ácido inicial, p. ej., el HCl inicial. En una modalidad preferida, se regenera al menos el 80 % del HCl inicial. En una modalidad preferida, se regenera al menos el 90 % del HCl inicial. Con el fin de proporcionar suficiente ácido, p. ej., suficiente HCl, para el tratamiento posterior del material no calcáreo, se puede añadir de nuevo una cantidad de ácido fuerte, p. ej., HCl, no regenerado, es decir, completar el ácido fuerte, p. ej., HCl.

[0152] En el séptimo ejemplo, tal como se mencionó anteriormente, la descomposición de los compuestos de calcio S160 y la regeneración de los agentes de lixiviación S170 pueden ocurrir en simultáneo a la descomposición térmica para precipitar el hierro y el aluminio. En una variación de la producción de cemento, el séptimo ejemplo puede incluir además tratar el producto de calcio clinkerizándolo, p. ej., sinterizándolo, lo cual comprende: en un horno, clinkerizar, p. ej., sinterizar compuestos de calcio declorados (p. ej., CaO , CaOH_2 , etc.), con SiO_2 , Al(OH)_3 y Fe(OH)_x , mediante

lo cual se forma clinker, p. ej., clinker para cemento de Pórtland común. Además, el ejemplo puede incluir la depuración del gas de combustión con compuestos insolubles de Mg producidos en el proceso, p. ej., $\text{Mg}(\text{OH})_2$, para producir MgCO_3 . De manera adicional o alternativa, los compuestos insolubles de Mg producidos en el proceso, p. ej., $\text{Mg}(\text{OH})_2$ pueden colocarse en una pila de residuos donde pueden entrar en contacto con el aire y convertirse lentamente en MgCO_3 . De manera adicional o alternativa, los compuestos insolubles de Mg producidos en el proceso pueden colocarse en una masa de agua, p. ej., un océano; en este proceso, también pueden formarse bicarbonatos.

Métodos de producción de materiales cementicios complementarios (SCM)

[0153] En determinadas modalidades, se proporciona un método para producir SCM, p. ej., puzolana, a partir de un material no calcáreo, tal como rocas y/o minerales. En general, el método implica exponer un material no calcáreo, tal como rocas y/o minerales no calcáreos, a un agente de lixiviación, p. ej., un ácido fuerte, que, p. ej., disuelva determinados componentes del material no calcáreo para producir un lixiviado líquido, al tiempo que deje un residuo de lixiviado sólido que comprenda una o más sustancias amorfas que puedan servir como SCM, p. ej., puzolanas, y separar el residuo de lixiviado sólido del lixiviado líquido; otras etapas opcionales pueden incluir el tratamiento del SCM para eliminar el lixiviado líquido, p. ej., mediante enjuague, tratar el SCM para secarlo, y/o tratar el SCM para producir SCM en un intervalo de tamaños deseado.

[0154] El material no calcáreo puede ser cualquier material adecuado, siempre y cuando contenga uno o más compuestos que puedan proporcionar un material final que comprenda sustancias amorfas (no cristalinas) que puedan servir como SCM. Pueden incluir sílice amorfa, en cuyo caso el material inicial también comprenderá sustancias a base de silicio, tales como sílice, silicatos, compuestos de sílice y/o compuestos de silicato. Sin embargo, otras sustancias pueden proporcionar compuestos amorfos que sirvan como SCM, tales como compuestos amorfos de hierro y aluminio, tal como se sabe en la técnica; en estos casos, el material inicial incluye los elementos iniciales requeridos. En general, una «sustancia amorfa», tal como se usa esa expresión en el presente documento, incluye una sustancia que puede existir como uno o más polimorfos cristalinos o polimorfos no cristalinos, donde se puede hacer referencia al polimorfo no cristalino como «polimorfo amorfo» o «sustancia amorfa» o «sustancia no cristalina». En determinadas modalidades, el material no calcáreo comprende silicio. En determinadas modalidades, el material no calcáreo comprende rocas y/o minerales que comprenden silicio. En determinadas modalidades, el material no calcáreo comprende rocas y/o minerales que comprenden sustancias no silíceas que sirven como materiales para producir sustancias amorfas, tales como sustancias que contengan hierro y/o aluminio; estas pueden estar presentes además del silicio o, en algunos casos, servir como

fuelle primaria o única de sustancias amorfas en el SCM final. En determinadas modalidades, el material no calcáreo, p. ej., rocas y/o minerales, comprende silicato de calcio. Los ejemplos de rocas y/o minerales no calcáreos adecuados incluyen basalto, gabro, piroxenitas, anortositas, skarns, anfíbolita, o una combinación de estas opciones. Otros materiales no calcáreos adecuados pueden ser los descritos en el presente documento.

[0155] El material no calcáreo, p. ej., roca y/o mineral, puede procesarse para proporcionar partículas en un intervalo de tamaños deseado. Se puede utilizar uno o más procesos adecuados cualesquiera, tales como la trituración y el tamizado. Los intervalos de tamaños adecuados incluyen 1-500u, 5-300u, 10-200u, 20-130u, 45-90u, o una combinación de estos. En una modalidad preferida, el intervalo de tamaños es de 20-130u. En una modalidad más preferida, el intervalo de tamaños es de 45-90u.

[0156] El material no calcáreo, p. ej., roca y/o mineral, es puesto en contacto con un agente de lixiviación, que puede ser cualquier agente de lixiviación adecuado, por ejemplo, los descritos en el presente documento. En determinadas modalidades, el agente de lixiviación comprende un ácido fuerte, y el proceso de puesta en contacto produce una pulpa que comprende el ácido y rocas y/o minerales. Se puede utilizar cualquier agente de lixiviación adecuado, p. ej., tal como HCl, HBr, HI, H₂SO₄ o HNO₃. En determinadas modalidades, el ácido fuerte comprende HCl. En determinadas modalidades, el único ácido utilizado es HCl. Por conveniencia, el resto del proceso se describirá en cuanto al HCl; como será evidente para la persona experta en la técnica, si se utiliza otro ácido además o como alternativa al HCl, se pueden realizar los ajustes adecuados para adaptarse al ácido adicional/alternativo.

[0157] Se puede utilizar cualquier concentración adecuada de HCl, tal como 5-40 %, 10-37 %, 10-30 %, 15-35 %, 17-23 %, 20-30 %, o alrededor de o exactamente 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 o 30 %, tal como alrededor de o exactamente 20 %. En modalidades preferidas, el HCl constituye el 10-37 %. En modalidades incluso más preferidas, el HCl constituye el 15-35 %.

[0158] La relación de material no calcáreo sólido, p. ej., roca y/o mineral sólido, con respecto al líquido (ácido) en la pulpa inicial puede ser cualquier relación adecuada; se apreciará que parte de la roca sólida y/o el mineral comenzará a disolverse en el ácido inmediatamente y que estas relaciones cambiarán a medida que el sólido se disuelva en la solución. Las relaciones iniciales adecuadas pueden oscilar entre 5 % de sólido/95 % de líquido y 40 % de sólido/60 % de líquido, tal como 10 % de sólido/90 % de líquido y 30 % de sólido/70 % de líquido; en una modalidad preferida, 15 % de sólido/85 % de líquido y 25 % de sólido/75 %, tal como 20 % de sólido/80 % de líquido. En determinadas modalidades, en el presente documento se proporciona una composición de pulpa

que comprende rocas y/o minerales sólidos de carácter no calcáreo y sólido y un agente de lixiviación líquido, tal como un ácido fuerte, p. ej., HCl, donde la pulpa comprende sólido y líquido en una relación de 5 % sólido/95 % líquido a 40 % sólido/60 % líquido, tal como de 10 % sólido/90 % líquido a 30 % sólido/70 % líquido; en una modalidad preferida, de 15 % sólido/85 % líquido a 25 % sólido/75 %, tal como 20 % sólido/80 % líquido. En determinadas modalidades, las rocas y/o los minerales sólidos no calcáreos comprenden al menos un 60, 70, 80, 90 o 95 % de partículas en un intervalo de tamaños de 1-500 u, 5-300 u, 10-200 u, 20-130 u, 45-90 u, o una combinación de estos. En una modalidad preferida, el intervalo de tamaños es de 20-130u. En una modalidad más preferida, el intervalo de tamaños es de 45-90u. En determinadas modalidades, el agente de lixiviación es un ácido fuerte, p. ej., HCl, y está presente en una concentración de 10-40 %, tal como 10-35 %, en algunos casos 15-35 % o incluso 20-30 %.

[0159] La pulpa se trata para hacer que al menos algunos, preferiblemente la mayoría, de los materiales no amorfos, p. ej., materiales no silíceos y similares, se disuelvan en una solución, dejando un sólido rico en sustancias amorfas, p. ej., sílice amorfa. El tratamiento puede producirse en un proceso abierto a la atmósfera, o al menos no presurizado. En general, se puede utilizar la duración del tratamiento y/o la temperatura, que pueden ajustarse, p. ej., en función del material inicial. Los intervalos de temperatura adecuados en los que se mantiene la pulpa incluyen 60-115 °C, 80-115 °C, 90-115 °C, 100-115 °C, 60-112 °C, 80-112 °C, 90-112 °C, 100-112 °C, 60-110 °C, 80-110 °C, 90-110 °C o 100-110 °C; se apreciará que a medida que se disuelva más material en la fase líquida, aumentará la temperatura de ebullición de la solución de HCl. Por lo tanto, en determinadas modalidades, la temperatura es de al menos 95, 96, 97, 98, 99 o 100 °C; en modalidades preferidas, la temperatura es de al menos 90 °C; en modalidades más preferidas la temperatura es de al menos 95 °C; en modalidades aún más preferidas, la temperatura es de al menos 98 °C; y en modalidades incluso más preferidas la temperatura es de al menos 100 °C. En determinadas modalidades, la temperatura máxima es 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114 o 115 °C; en una modalidad preferida la temperatura máxima es 105 °C; en una modalidad más preferida, la temperatura máxima es 108 °C; en una modalidad aún más preferida, la temperatura máxima es 110 °C. Por lo tanto, en determinadas modalidades, la temperatura se mantiene a 100-110 °C.

[0160] Puede utilizarse cualquier duración adecuada del tratamiento. Esto puede depender, en cierta medida, del material inicial, p. ej., mineral y/o roca de carácter no calcáreo. Por lo tanto, la duración del tratamiento puede ser de al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 o 10 horas y/o no superior a 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 20, 24, 30, 36, 40, 48, 60 o 72 horas. En determinadas modalidades, la duración puede ser de 2-24 horas, por ejemplo, 4-18 horas o incluso 4-12 horas o menos. En determinadas modalidades, la duración puede ser de 6-72 horas, tal como 4-48 horas, o 4-36 horas,

o 4-24 horas.

[0161] La pulpa puede ser agitada durante el tratamiento, por ejemplo, agitarse a 10-1000 RPM, 20-800 RPM, 50-500 RPM, 50-400 RPM o 100-300 RPM. En modalidades preferidas, la pulpa se agita a 50-400 RPM, más preferiblemente a 100-300 RPM. Se pueden utilizar otras formas adecuadas de agitación.

[0162] Una vez alcanzada una duración de tratamiento adecuada, se ha producido una solución que comprende sales de materiales disueltos procedentes del material no calcáreo (a la que también se hace referencia en el presente documento como «solución de lixiviación» o «solución de lixiviación preñada», o PLS, por su sigla en inglés) y una parte sólida no disuelta (a la que también se hace referencia en el presente documento como «residuo de lixiviado»). El residuo de lixiviación se separa de la solución de lixiviación. Se puede utilizar cualquier método adecuado, p. ej., simplemente el drenado de la PLS, la centrifugación, la filtración y similares, tales como los métodos descritos en el presente documento.

[0163] El residuo de lixiviado contendrá generalmente una o más sustancias amorfas, p. ej., una o más sustancias amorfas que puedan servir como SCM, p. ej., puzolanas. En determinadas modalidades en las que los materiales iniciales comprenden silicio, el residuo de lixiviado contiene sílice amorfa. De manera adicional o alternativa, el residuo de lixiviado puede contener otros compuestos amorfos, tales como Fe y/o Al amorfos, p. ej., alúmina amorfa, óxidos de hierro amorfos y similares, que también puedan servir como SCM, p. ej., puzolanas. En determinadas modalidades, el residuo de lixiviado comprende sílice amorfa al menos en un 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 u 80 % p. El residuo de lixiviado puede tratarse para eliminar una parte o la totalidad de la solución de lixiviado, p. ej., mediante enjuague, p. ej., con agua. A continuación, se puede secar. El residuo de lixiviado secado puede ser un SCM y puede utilizarse tal cual se encuentre, o tras un tratamiento adicional, p. ej., un tratamiento adicional para reducir el tamaño de las partículas a un intervalo deseado, p. ej., mediante trituración y tamizado.

[0164] En determinadas modalidades en las que los materiales iniciales comprenden silicio, el residuo de lixiviado contiene sílice amorfa. De manera adicional o alternativa, el residuo de lixiviado puede contener otros compuestos amorfos, tales como Fe, Al y/o Mg amorfos, p. ej., alúmina amorfa, óxidos de hierro amorfos y óxidos de magnesio amorfos y similares, que también puedan servir como SCM, p. ej., puzolanas.

Aparatos

[0165] En un aspecto, en el presente documento se proporcionan aparatos, p. ej., aparatos adecuados para realizar uno o más de los procesos descritos en el presente documento. En

determinadas modalidades, se proporciona un aparato para producir SCM (puzolanas) a partir de material no calcáreo, p. ej., roca y/o minerales no calcáreos que comprendan uno o más recipientes de lixiviación, un sistema de separación para separar los sólidos producidos en el recipiente de lixiviación del líquido, y un sistema de procesamiento para procesar el sólido separado para proporcionar SCM. Otros componentes pueden incluir una o más fuentes de energía para los procesos realizados por el aparato, uno o más sistemas para procesar material no calcáreo, tal como rocas y/o minerales no calcáreos, para hacerlos aptos para la lixiviación (puede ser igual o, normalmente, diferente del sistema de procesamiento para procesar sólidos separados). La composición exacta de los componentes puede depender, en algunos casos, del tipo de proceso realizado. Por ejemplo, en un proceso por lotes, el recipiente de lixiviación puede ser un recipiente, tal como un tanque, que comprenda material que pueda soportar la temperatura y la acidez del proceso de lixiviación y suficientemente estanco para contener el ácido durante la lixiviación, p. ej., completamente estanco. En un proceso continuo, tal como un proceso de lixiviación a contracorriente, el recipiente de lixiviación puede comprender un primer transportador para transportar material no calcáreo, p. ej., rocas y/o minerales no calcáreos, en una primera dirección y un segundo transportador para transportar un agente de lixiviación, tal como un ácido fuerte, p. ej., HCl, en la dirección opuesta, de forma tal que ambos entren en contacto a contracorriente, donde los componentes que entren en contacto con el agente de lixiviación comprendan material que pueda soportar el agente de lixiviación y las temperaturas que se utilicen. Otras disposiciones para otros tipos de procesos de lixiviación serán fácilmente evidentes para la persona experta en la técnica. El sistema de separación puede comprender, p. ej., una o más centrifugadoras, filtros, filtros de prensa o similares, tal como se describe en otras partes del presente documento. El sistema de procesamiento puede incluir un secador, que puede ser cualquier secador adecuado, incluso, en algunos casos, un secador que simplemente permita que la SCM se seque abierta a la atmósfera, o cualquier otro secador adecuado, tal como uno que suministre calor al SCM para acelerar el secado; esos aparatos son muy conocidos en la técnica. El sistema de tratamiento puede comprender una enjuagadora opcional para enjuagar el agente de lixiviación y la solución lixivante del SCM antes del secado. El sistema de procesamiento también puede incluir uno o más componentes para procesar el SCM con el fin de producir partículas en un intervalo de tamaños o conjunto de intervalos de tamaño deseados, tales como trituradoras, molinos de bolas, tamices y/u otros componentes conocidos en la técnica. La o las fuentes de energía puede ser una disposición adecuada de una o más de una conexión a una red de energía, p. ej., la red eléctrica, una fuente de energía renovable (tal como la solar, eólica, geotérmica, y similares), dispositivos de almacenamiento de energía, tales como baterías, un generador alimentado por combustibles fósiles tales como un generador

alimentado por gas natural o un generador alimentado por carbón, otros generadores de energía adecuados, o cualquier combinación adecuada de estos. En las modalidades en las que se utiliza un generador alimentado por combustible fósil, la fuente de energía puede comprender además un sistema para depurar el gas de combustión producidos por el generador de combustible fósil para reducir SOx, NOx y/u otros contaminantes regulados a niveles aceptables, y/o para reducir el contenido de dióxido de carbono del gas de combustión. En determinadas modalidades, ese sistema comprende un aparato para poner en contacto el gas de combustión con compuestos de magnesio producidos en el procesamiento adicional de la fracción rica en calcio (tal como se detallará más adelante), donde el sistema elimina el dióxido de carbono y, en algunos casos, SOx y/o NOx del gas de combustión.

[0166] En determinadas modalidades, se proporciona un aparato para producir clínker o cemento, p. ej., cemento de Pórtland de material no calcáreo, p. ej., roca y/o mineral no calcáreo, que comprende uno o más recipientes de lixiviación, un sistema de separación para separar la fracción sólida pobre en calcio producida en el recipiente de lixiviación de una fracción líquida rica en calcio, un sistema de procesamiento para eliminar las sustancias y los compuestos no cálcicos de la fracción rica en calcio, un sistema para precipitar el compuesto de calcio sólido de la fracción rica en calcio, un sistema para descomponer el compuesto de calcio sólido y obtener producto declorado y tratarlo para producir un clínker de cemento de Pórtland, y un sistema para procesar el clínker de cemento de Pórtland para obtener cemento de Pórtland. Otros componentes pueden incluir una o más fuentes de energía para los procesos realizados por el aparato, uno o más sistemas para procesar material no calcáreo, tal como rocas y/o minerales no calcáreos, para hacerlos aptos para la lixiviación (puede ser igual o, normalmente, diferente del sistema de procesamiento para procesar sólidos separados). Si también se produce SCM, se incluyen componentes adicionales tal como se describió anteriormente. Los recipientes de lixiviación, los sistemas de separación, las fuentes de energía, los sistemas para procesar materiales no calcáreos tales como rocas y/o minerales no calcáreos son los descritos anteriormente. El sistema de procesamiento para eliminar sustancias y compuestos no cálcicos de la fracción rica en calcio puede incluir uno o más sistemas para calentar la fracción rica en calcio y mantenerla en una temperatura o un intervalo de temperaturas deseado y/o un sistema para añadir base a la fracción rica en calcio, y sistemas de separación para eliminar sustancias y compuestos no cálcicos insolubles de las fracciones ricas en calcio. Los sistemas para calentar soluciones y mantenerlas a una temperatura son conocidos en la técnica y pueden incluir cualquier disposición adecuada, p. ej., una fuente de calor aplicada al exterior del recipiente de lixiviación, o al interior, uno o más sensores de temperatura, un sistema de control, y similares. Los sistemas para añadir base pueden incluir un mecanismo de transporte para

transportar base (p. ej., base producida posteriormente en el proceso, tal como CaO, silicato dicálcico y/o silicato tricálcico) a la fracción rica en calcio, medir la cantidad de base, introducir base, cronometrar el tiempo de reacción y similares. Todos los componentes de estos sistemas pueden ser los conocidos en la técnica. En determinadas modalidades, tanto un sistema para calentar la fracción rica en calcio como para la adición de base a la fracción rica en calcio se incorporan en el aparato. Los sistemas para separar compuestos y/o sustancias insolubles son los descritos. Si se utiliza un ácido fuerte como agente de lixiviación, p. ej., HCl, y el ácido fuerte, p. ej., HCl, se regenera, el aparato puede comprender además uno o más componentes para, p. ej., capturar el gas de HCl y ponerlo en contacto con un líquido acuoso para la producción de HCl líquido, tales como sistemas muy conocidos en la técnica. El sistema para precipitar el sólido que contiene calcio de la fracción rica en calcio puede ser tan simple como una fuente de calor para calentar la solución rica en calcio para producir vapor; opcionalmente, se puede incluir un sistema de transporte, tal como uno o más conductos o similares, para transportar vapor al sistema para descomponer el sólido que contiene calcio en clínker de cemento de Pórtland. El sistema para descomponer el sólido que contiene calcio y obtener producto declorado y sinterizarlo para obtener clínker de cemento de Pórtland puede incluir una o más fuentes de calor, uno o más aparatos para introducir vapor, sílice y, generalmente, uno o más fundentes que contengan aluminio y/o hierro, en el sólido que contenga calcio, y un aparato para contener el sólido que contenga calcio sinterizado, tal como un lecho fluidizado o un horno, preferiblemente un horno giratorio. Los sistemas opcionales para transformar el clínker de cemento de Pórtland en cemento de Pórtland son muy conocidos en la técnica y pueden incluir trituradoras, molinos de bolas, tamices y similares. El sistema para descomponer el compuesto sólido de calcio puede comprender además un aparato para capturar y transportar el ácido regenerado, p. ej., HCl regenerado, de vuelta a una fuente de HCl.

[0167] En determinadas modalidades, se proporciona un aparato para producir clínker, p. ej., clínker adecuado para producir cemento, p. ej., cemento de Pórtland a partir de materiales no calcáreos, p. ej., rocas y/o minerales, y/u otros materiales iniciales adecuados tal como se describe en el presente documento. En general, ese aparato comprende al menos un primer procesador configurado para tratar materiales iniciales no calcáreos para producir un sólido que comprende uno o más compuestos de calcio, p. ej., CaCl_2 , conectado de manera operativa a un segundo procesador configurado para formar un clínker a partir de la composición sólida que comprende uno o más compuestos de calcio, p. ej., cloruro de calcio, p. ej., clínker, tal como clínker de OPC, y, opcionalmente, para producir cemento, p. ej., OPC, a partir del clínker. Véase, p. ej., la **Figura 8**.

[0168] El primer procesador puede comprender un lixiviador, conectado de manera operativa con uno o precipitadores, conectados de manera operativa con un deshidratador. Véase, p. ej., la

Figura 9. En determinadas modalidades en las que se utiliza un material inicial que puede utilizarse sin precipitar sales no cálcicas, el primer sistema puede comprender un lixiviador y un deshidratador sin uno o más precipitadores.

[0169] El lixiviador puede configurarse para poner en contacto el material no calcáreo con un ácido para producir una primera fracción líquida rica en calcio y una fracción sólida pobre en calcio. Se puede conectar de manera operativa con un procesador de material configurado para procesar material inicial no calcáreo, p. ej., configurado para reducir el tamaño del material no calcáreo y/o clasificar el material en uno o más intervalos de tamaños, p. ej., un sistema de procesamiento de material que comprenda una trituradora y/o un molino, y uno o más filtros de clasificación por tamaño, u otra disposición adecuada. El lixiviador comprende generalmente un recipiente de lixiviación para contener y tratar la pulpa creada a partir de los materiales ácidos y no calcáreos. Se puede utilizar cualquier material adecuado siempre y cuando pueda soportar las condiciones de lixiviación. El lixiviador puede incluir un elemento de calentamiento y/o un agitador. Puede conectarse de manera operativa con un depósito de ácido. Puede estar conectado de manera operativa con un primer separador, que también puede conectarse de manera operativa con el precipitador, donde el primer separador puede estar configurado para separar la fracción líquida rica en calcio y la fracción sólida pobre en calcio, y dirigir la fracción líquida rica en calcio al precipitador. El primer separador también puede conectarse de manera operativa con un sistema de procesamiento de sólidos, p. ej., para procesar sólido pobres en calcio, p. ej., sílice (por comodidad, el sólido se describirá como sílice, pero se entenderá que en determinados casos puede comprender otro material), que comprenda, p. ej., una enjuagadora y un secador. Parte de la sílice puede utilizarse en la decloración y/o clinkerización —véase más adelante— en cuyo caso el sistema de tratamiento de sólidos está conectado de manera operativa al declorador y/o clinkerizador, para suministrar sílice. Parte de la sílice puede utilizarse como SCM, y el aparato puede comprender además uno o más procesadores adicionales para el procesamiento posterior según sea necesario o deseado para producir una o más características deseadas, p. ej., tamaño de partícula, almacenamiento y similares.

[0170] El precipitador puede estar configurado para eliminar una o más sales no cálcicas de la fracción rica en calcio mediante la conversión de la o las sales no cálcicas en forma sólida que se eliminan de la fracción rica en calcio. Generalmente, el precipitador está conectado de manera operativa con el sistema de separación del recipiente de lixiviación, de forma tal que la fracción líquida rica en calcio se mueva desde el sistema de separación hasta el precipitador o, si se utilizan múltiples unidades de precipitación, hasta la primera unidad de precipitación de la serie. El precipitador, o cada unidad de precipitación si se utilizan múltiples unidades de precipitación, está conectado de manera operativa con un segundo (y posiblemente tercer y/o cuarto) separador para

separar los sólidos producidos en el precipitador o la unidad de precipitación de la fracción líquida rica en calcio.

[0171] El precipitador comprende una primera unidad de precipitación que es una unidad de precipitación de base configurada para precipitar un primer conjunto de compuestos no cálcicos. La unidad de precipitación de base puede conectarse de manera operativa con una o más fuentes de base; la fuente de base puede comprender una fuente de base de calcio. La precipitación de base es tal como se describe en más detalle en otras partes del presente documento. En determinadas modalidades, al menos una parte de la fuente de base cálcica comprende una fuente conectada de manera operativa con el declorador y/o clinkerizador, para recibir uno o más productos de estos. En determinadas modalidades, el precipitador comprende solamente una unidad de precipitación de base; en estos casos, la precipitación de base generalmente deriva en la precipitación de especies de aluminio, hierro y magnesio, tal como también se describe en más detalle en otras partes del presente documento.

[0172] En determinadas modalidades, el precipitador comprende además una segunda unidad de precipitación que es una unidad de precipitación con pirohidrólisis configurada para precipitar un segundo conjunto de compuestos no cálcicos a partir de la fracción líquida rica en calcio; tal como se indicó anteriormente, puede estar conectada de manera operativa con un tercer separador para separar el segundo conjunto de compuestos no cálcicos precipitados de la fracción líquida rica en calcio. En determinadas modalidades, el precipitador comprende una tercera unidad de precipitación que es una unidad de pirohidrólisis para precipitar un tercer conjunto de compuestos no cálcicos de la fracción líquida rica en calcio, que puede conectarse de manera operativa con un cuarto separador para separar el tercer conjunto de compuestos no cálcicos precipitados de la fracción líquida rica en calcio. En determinadas modalidades, la segunda y tercera unidades de precipitación son las mismas y el segundo y tercer conjuntos de compuestos no cálcicos precipitados son los mismos. Por ejemplo, la segunda/tercera unidad de precipitación puede configurarse para realizar una pirohidrólisis de una etapa, tal como se describe en más detalle en otras partes del presente documento, y el segundo/tercer conjunto de productos precipitados no cálcicos puede comprender especies de Al y Fe, tal como también se describe en más detalle en el presente documento. En determinadas modalidades, la segunda y tercera unidades de precipitación son diferentes, y la segunda unidad de precipitación está configurada para precipitar compuestos de aluminio al calentar el líquido rico en calcio hasta una primera temperatura o un primer intervalo de temperaturas, p. ej., tal como se describe en más detalle en otras partes del presente documento, y la tercera unidad de precipitación está configurada para precipitar compuestos de hierro al calentar el líquido rico en calcio hasta una segunda temperatura o un segundo intervalo de temperaturas, superior a los

primeros, p. ej., tal como se describe en más detalle en otras partes del presente documento. El aparato puede incluir además una o más unidades para transportar uno o más de los productos de precipitación no cálcicos al clinkerizador y/o al declorador. Por lo general, estos incluyen compuestos de aluminio y compuestos de hierro que pueden servir como fundente en el clinkerizador.

5 **[0173]** El precipitador está conectado de manera operativa con el deshidratador para enviar al deshidratador líquido rico en calcio al que se le hayan eliminado los compuestos no cálcicos.

[0174] El deshidratador está configurado para eliminar el agua de la fracción líquida rica en calcio procedente del precipitador, para producir un sólido que comprenda uno o más compuestos de calcio, p. ej., cloruro de calcio, p. ej., al calentar el líquido rico en calcio para evaporar el agua
10 hasta alcanzar un nivel deseado de sequedad. El deshidratador puede comprender un elemento de calentamiento. En determinadas modalidades, el deshidratador puede comprender un aparato, tal como un aparato que comprenda un conducto, que esté configurado para transportar el vapor producido en el deshidratador al declorador y, opcionalmente, al clinkerizador. El producto sólido producido por el deshidratador es un sólido que comprende uno o más compuestos de calcio, lo cual
15 incluye cloruro de calcio, que puede estar presente en uno o más estados de hidratación, p. ej., anhidro, monohidratado, etc. Dependiendo de los materiales iniciales y del procesamiento, el sólido puede tener más de 80, 90, 95 o 98 % de CaCl_2 . Es conveniente configurar el deshidratador para producir estados de hidratación más bajos del cloruro de calcio, p. ej., anhidro, ya que las etapas adicionales requerirán entonces menos energía para expulsar el agua restante. Es posible conectar
20 al deshidratador otros equipos de procesamiento, p. ej., para reducir el tamaño del sólido al producir partículas, copos o similares a partir del sólido.

[0175] El segundo procesador comprende un declorador y un clinkerizador (horno de cemento). Véase, p. ej., la **Figura 10**. El declorador, que está conectado de manera operativa con el deshidratador y recibe el sólido que comprende cloruro de calcio (que puede procesarse de manera
25 adicional de camino al declorador), está configurado para declorar el sólido que comprende CaCl_2 para producir un sólido declorado que comprenda compuestos de calcio. El declorador está conectado de manera operativa con el clinkerizador, que está configurado para calentar el sólido declorado en presencia de fundente para producir un clínker. El declorador y el clinkerizador pueden ser una sola unidad. En modalidades preferidas, el declorador y el clinkerizador son unidades
30 separadas. En modalidades preferidas, el declorador y/o el clinkerizador comprenden un horno giratorio; en modalidades más preferidas, el declorador y el clinkerizador comprenden un horno giratorio.

[0176] El declorador puede configurarse para producir un sólido declorado que comprenda compuestos de calcio y menos de 20, 15, 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 o 1 %p de Cl. Los métodos y sistemas

para declorar un sólido que comprende cloruro de calcio hasta niveles bajos de cloruro pueden ser los descritos en el presente documento; por ejemplo, el declorador puede configurarse para mantener el calentamiento a una velocidad lo suficientemente baja como para estar por debajo de 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 u 80 °C cuando los materiales alcancen una temperatura umbral, p. ej., 700-750 °C, hasta otra temperatura, p. ej., 800-1000 °C. De manera adicional o alternativa, el declorador puede configurarse para mantener los materiales a una o más temperaturas durante uno o más períodos, y/o para ajustar y/o mantener el calentamiento a una o más velocidades de rampa convenientes. El declorador está conectado de manera operativa con una o más fuentes de vapor, y una o más fuentes de sílice. Una de las fuentes de vapor puede ser el deshidratador. La o las fuentes de sílice pueden comprender el primer procesador o una parte de este, p. ej., sólido pobre en calcio separado de la fracción rica en calcio en el primer separador, que puede tratarse de manera adicional, p. ej., mediante enjuague y secado, y el posterior traslado al declorador. La sílice se mezcla con el sólido que comprende cloruro de calcio procedente del deshidratador; esto puede tener lugar antes de la llegada al declorador. La sílice puede mezclarse en una relación deseada, p. ej., relación molar Ca:Si de 1-4, preferiblemente 2-4, más preferiblemente 2,5-3,5, incluso más preferiblemente 2,5-3,25. El declorador produce HCl, y el declorador puede estar conectado de manera operativa con el lixiviador para reponer HCl en el lixiviador y/o el depósito de ácido.

[0177] El clinkerizador está configurado para recibir el sólido declorado que comprende compuestos de calcio del declorador y para tratar de manera adicional el sólido en presencia de fundente y, opcionalmente, vapor (al menos en las primeras etapas) para producir clínker. El clínker calienta el sólido declorado que comprende compuestos de calcio, mezclado con fundente, p. ej., a una o más temperaturas y/o durante uno o más períodos, tal como se describe en el presente documento. Una o más fuentes de fundente están conectadas de manera operativa con el clinkerizador. Se puede utilizar cualquier fundente adecuado. En determinadas modalidades, una parte o la totalidad del fundente comprende una o más especies producidas en el primer procesador, p. ej., en una o más unidades de precipitación del precipitador, y el clinkerizador está conectado de manera operativa con el primer procesador, p. ej., la o las unidades de precipitación, p. ej., una o más unidades de precipitación que producen especies de aluminio y/o hierro, lo cual incluye óxidos de aluminio y/o hierro, que pueden incluir, p. ej., Al_2O_3 y/o Fe_2O_3 . En determinadas modalidades, el fundente comprende material no producido en el proceso, tal como material como arcilla y otros materiales, tal como se sabe en la técnica, y la o las fuentes de fundente comprenden el o los materiales. En determinadas modalidades, el clinkerizador también sirve como fuente de base de calcio, donde uno o más productos del clinkerizador, p. ej., que comprenden silicatos di y/o

tricálcicos, se utilizan como base de calcio en el precipitador, y el clinkerizador está conectado de manera operativa con el precipitador, p. ej., con la unidad de precipitación de base.

[0178] En determinadas modalidades, el sistema comprende además un procesador de clínker configurado para recibir clínker del clinkerizador y procesarlo de manera adicional, p. ej., para producir cemento, tal como cemento de Pórtland, p. ej., OPC. El procesador de clínker puede configurarse para modular el tamaño/la distribución de tamaño del clínker, p. ej., mediante trituración, molienda, cribado y similares, y/o para introducir materiales adicionales, p. ej., yeso. El procesador de clínker también puede estar configurado para preparar materiales procesados, p. ej., cemento tal como OPC, para su transporte y/o comercialización.

[0179] En determinadas modalidades, el procesador de clínker está conectado de manera operativa con una instalación de producción de hormigón, generalmente en la proximidad cercana a la fuente de materiales iniciales, p. ej., materiales no calcáreos, donde la instalación de producción de hormigón produce hormigón mediante el uso de cemento del procesador de clínker y, en determinadas modalidades, también mediante el uso de áridos que se producen a partir de los mismos materiales no calcáreos utilizados para producir el cemento y/o SCM.

[0180] En la **Figura 13** se muestra una modalidad de un sistema y método para producir clínker a partir de materiales no calcáreos. Un material inicial, p. ej., un material no calcáreo tal como se describe en el presente documento, por ejemplo, rocas y/o minerales no calcáreos, se suministra a través de una alimentación (1301) a un procesador de material (1302) que comprende una trituradora (1303) que procesa el material inicial para obtener partículas trituradas que comprendan múltiples tamaños. A continuación, las partículas trituradas se transfieren a través de uno o más tamices (1304) que separan las partículas trituradas de un intervalo de tamaños deseado de las partículas trituradas de un intervalo de tamaños superior al deseado. Las partículas trituradas más grandes de lo deseado se devuelven a la trituradora (1303), opcionalmente mezcladas con nuevo material inicial, para su procesamiento adicional. A continuación, las partículas trituradas del intervalo de tamaños deseado se alimentan a un molino (1305), donde las partículas trituradas se muelen hasta alcanzar un tamaño más fino. Las partículas molidas se combinan con una corriente de aire (1306) y se alimentan a un compartimento de bolsa (1307), donde las partículas molidas se separan del aire y se alimentan a una tolva (1309), y el aire limpio se ventila (1308).

[0181] A continuación, las partículas molidas se transfieren de la tolva a un lixiviador (1310), donde las partículas molidas son puestas en contacto con un agente de lixiviación en un tanque de lixiviación (1311), tal como un ácido, por ejemplo, HCl, para formar una pulpa. Los agentes de lixiviación se suministran desde un tanque de almacenamiento de ácido (1312). Se puede añadir o retirar (1313) agente de lixiviación adicional del tanque de almacenamiento de ácido (1312) según

sea necesario. El tanque de lixiviación (1311) puede comprender un agitador/elemento de agitación. El tanque de lixiviación puede comprender uno o más elementos de calentamiento (no mostrados) para calentar la pulpa. El sistema de lixiviación puede comprender un elemento de recuperación de ácido (1314), que recupere el ácido evaporado y lo devuelva al tanque de lixiviación (1311), y/o lo ventile (1315). Se puede añadir agua al tanque de almacenamiento de ácido desde cualquier fuente adecuada de agua, p. ej., un sistema de recompresión de caldera/vapor (1316) para preparar la concentración deseada de ácido. Después de un tratamiento adecuado, la pulpa tratada, que generalmente comprende una fracción líquida rica en calcio y una fracción sólida pobre en calcio, puede transferirse a través de un primer separador, que en este ejemplo comprende un filtro de lixiviación (1317) para separar la fracción sólida pobre en calcio de la fracción líquida rica en calcio. El agua (1318), y/o cualquier otro fluido adecuado, puede añadirse en cualquier momento al filtro de lixiviación, p. ej., para enjuagar la fracción sólida pobre en calcio. La fracción sólida pobre en calcio puede transferirse a un horno (1319) para su secado. Por lo general, la fracción sólida pobre en calcio comprende sílice, y una parte o la totalidad de la fracción sólida puede utilizarse en etapas posteriores del proceso, p. ej., durante la decloración, como fuente de sílice. De manera adicional o alternativa, parte o la totalidad de la fracción sólida puede tratarse de manera adicional, p. ej., tratarse para obtener un intervalo de tamaños deseado, para proporcionar material cementicio complementario (SCM), que pueda ser comercializado y/o utilizado en combinación con el cemento producido en el proceso para producir, p. ej., hormigón.

[0182] La fracción líquida rica en calcio procedente del primer separador, p. ej., el filtro de lixiviación (1317), pasa luego a una unidad de precipitación que es una unidad de precipitación con pirohidrólisis, en esta modalidad una cámara de hidrólisis de sales fundidas (1320) para su calentamiento con o sin tratamiento previo para eliminar el agua, NaCl, y/o KCl del lixiviado (1321). La cámara de hidrólisis de sales fundidas, p. ej., una cámara de pirohidrólisis, (1320) trata la fracción líquida rica en calcio a una o más temperaturas durante un período predeterminado a cada temperatura para promover determinadas reacciones químicas, incluida la conversión de especies solubles de hierro y/o aluminio, p. ej., cloruros de hierro y/o cloruros de aluminio en especies insolubles, que pueden incluir óxidos, p. ej., óxidos de hierro y/o aluminio. A continuación, la fracción líquida rica en calcio tratada luego se enfría en un extinguidor (1322) y se mezcla con agua en un mezclador (1323). Dependiendo del protocolo de tratamiento, las especies insolubles de aluminio y hierro, p. ej., óxidos, pueden recuperarse después del tratamiento (1324), p. ej., en un separador, por ejemplo, durante la adición de agua en el mezclador (1323). A continuación, la fracción líquida rica en calcio tratada se transfiere a una unidad de precipitación que es una unidad de precipitación de base que comprende un recipiente de precipitación (1325), donde la fracción líquida rica en calcio

tratada es puesta en contacto con uno o más productos químicos básicos, de forma tal que las especies de magnesio solubles, p. ej., cloruros de magnesio, se conviertan en especies de magnesio insolubles, p. ej., óxidos de magnesio, y se precipiten. La base puede tratarse en un apagador (1326) antes de la puesta en contacto con el lixiviado tratado. Las especies insolubles de magnesio precipitado, p. ej., las especies de óxido de magnesio, se separan entonces de la fracción líquida rica en calcio tratada a través de un separador, p. ej., que comprende una serie de unidades de sedimentación (1327) y/o filtros (1328), y opcionalmente se enjuagan con agua, o cualquier otro líquido adecuado (1329). En determinadas modalidades (no mostradas), el sistema no incluye la cámara de pirohidrólisis, y la unidad de precipitación que es una unidad de precipitación de base sirve para precipitar especies de aluminio, hierro y/o magnesio.

[0183] La fracción líquida rica en calcio tratada puede transferirse al tanque de almacenamiento de ácido, p. ej., depósito de ácido (1312) y/o a un deshidratador (1330) donde se deshidrata la fracción líquida rica en calcio, dejando un sólido que comprende cloruro de calcio, que generalmente comprende una alta concentración de cloruro de calcio, en uno o más estados de hidratación. El sólido que comprende cloruro de calcio (que puede encontrarse en uno o más estados de hidratación) se pasa entonces a un declorador (1331) mezclado con una o más especies de silicato adecuadas (tales como sílice de la fracción sólida agotada de calcio) y se calienta en presencia de vapor para convertir sólido que comprenda cloruro de calcio en sólido declorado que comprenda compuestos de calcio, tales como los descritos en otras partes del presente documento, al tiempo que se regenere el agente de lixiviación, p. ej., HCl, que pueda dirigirse de nuevo al tanque de lixiviación o al depósito de ácido. El sólido declorado que comprende compuestos de calcio puede almacenarse para su uso posterior (1332) y/o transferirse a un clinkerizador (horno de cemento) (1333), combinado con fundente adecuado, para su conversión en clínker. Parte o la totalidad del fundente puede comprender las especies metálicas insolubles, p. ej., que comprendan óxidos metálicos tales como óxidos de hierro y/o aluminio, separados del lixiviado tratado (1324). Tras el tratamiento térmico en el clínker (horno de cemento) (1333), el clínker se transfiere a una unidad de enfriamiento (1334), el clínker enfriado puede transferirse a un molino (1335) para su transformación en cemento. Una parte del sólido declorado que comprende compuestos de calcio, clínker y/o cemento puede utilizarse como parte o la totalidad de la base para la precipitación de magnesio en el tanque de precipitación (1325). Se puede comercializar una parte o la totalidad del cemento. Una parte o la totalidad del cemento puede utilizarse para producir hormigón, opcionalmente en combinación con una parte de la fracción sólida pobre en calcio (que actúa como SCM) y/o con áridos formados a partir del material inicial, p. ej., en el proceso de trituración y/o molienda.

[0184] En determinadas modalidades, en el presente documento se proporciona una instalación

de producción de hormigón que comprende una fuente de cemento y una fuente de áridos, donde el cemento y los áridos derivan del mismo material, p. ej., un material no calcáreo tal como se describe en el presente documento. La instalación puede comprender además una fuente de SCM, donde el SCM también deriva del mismo material. La instalación puede comprender una mezcladora para mezclar el cemento, los áridos y, opcionalmente, el SCM, para producir un hormigón. En determinadas modalidades, el sistema también comprende una fuente de cemento que se produce mediante métodos convencionales (calcinación y sinterización), y en determinadas modalidades este cemento convencional también se proporciona a la mezcladora.

10 **Modalidades**

[0185] En la modalidad 1 se proporciona un método para producir clínker que comprende: (a) poner en contacto un material no calcáreo que comprende calcio con ácido clorhídrico para producir una fracción sólida pobre en calcio y una fracción líquida rica en calcio que comprende cloruro de calcio; (b) tratar la fracción líquida rica en calcio para producir un sólido que comprende cloruro de calcio; (c) declorar el sólido que comprende cloruro de calcio para producir un sólido declorado que comprende compuestos de calcio; y (d) tratar el sólido declorado que comprende calcio para producir clínker. En la modalidad 2 se proporciona el método de la modalidad 1, que comprende además separar la fracción sólida pobre en calcio de la fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 3 se proporciona el método de la modalidad 1 o la modalidad 2 donde la fracción líquida rica en calcio comprende una o más sales no cálcicas de aluminio, hierro y/o magnesio, y el tratamiento de la fracción rica en calcio comprende el tratamiento del líquido para precipitar uno o más compuestos insolubles de aluminio, hierro y/o magnesio. En la modalidad 4 se proporciona el método de la modalidad 3 donde el tratamiento de la fracción líquida rica en calcio comprende poner en contacto a la fracción con una base. En la modalidad 5 se proporciona el método de la modalidad 4, donde el tratamiento de la fracción líquida rica en calcio comprende someter la fracción a pirohidrólisis para precipitar compuestos insolubles que contienen aluminio y/o hierro, eliminar los compuestos insolubles que contienen aluminio y/o hierro y luego poner en contacto a la fracción líquida rica en calcio restante con la base. En la modalidad 6 se proporciona método de cualquier modalidad anterior que comprende además deshidratar la fracción líquida rica en calcio para producir el sólido que comprende cloruro de calcio. En la modalidad 7 se proporciona el método de cualquier modalidad anterior donde la decloración del sólido que comprende cloruro de calcio comprende calentar el sólido en presencia de vapor y sílice para producir el sólido declorado que comprende calcio. En la modalidad 8 se proporciona el método de la modalidad 7, donde el calcio y la sílice están presentes en una relación molar Ca:Si de entre 2,45 y 3,25. En la modalidad 9 se

proporciona el método de cualquier modalidad anterior donde el tratamiento del sólido declorado que comprende calcio para producir clínker comprende el calentamiento del sólido con fundente. En la modalidad 10 se proporciona el método de la modalidad 9 donde el fundente comprende óxidos de aluminio y hierro. En la modalidad 11 se proporciona el método de cualquier modalidad anterior que comprende además procesar el clínker para producir el cemento.

[0186] En la modalidad 12 se proporciona un método para preparar un material sólido que comprende uno o más compuestos de magnesio capaces de reaccionar con dióxido de carbono y secuestrarlo que comprende: (a) poner en contacto un material inicial no calcáreo con un ácido para producir una fracción líquida rica en calcio que comprende magnesio y una fracción sólida pobre en calcio; (b) tratar la fracción líquida rica en calcio para precipitar el uno o más compuestos de magnesio capaces de reaccionar con dióxido de carbono y secuestrarlo; (c) separar el precipitado rico en magnesio de la fracción líquida rica en calcio; y (d) enjuagar y secar el precipitado rico en magnesio. En la modalidad 13 se proporciona el método de la modalidad 12 que comprende además separar el uno o más compuestos de magnesio capaces de reaccionar con el dióxido de carbono del líquido y secuestrarlo. En la modalidad 14 se proporciona el método de la modalidad 13 que comprende además enjuagar y secar el uno o más compuestos de magnesio capaces de reaccionar con el dióxido de carbono y secuestrarlo. En la modalidad 15 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 12 a 14, donde el uno o más compuestos de magnesio capaces de reaccionar con el dióxido de carbono y secuestrarlo comprenden óxidos, hidróxidos, oxihidróxidos, silicatos, silicatos hidratados, complejos de magnesio o una combinación de estos. En la modalidad 16 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 12 a 15, que comprende además la puesta en contacto del uno o más compuestos de magnesio capaces de reaccionar con dióxido de carbono, y secuestrarlo, con dióxido de carbono para secuestrar el dióxido de carbono como carbonato o bicarbonato de magnesio. En la modalidad 17 se proporciona el método de la modalidad 16 donde la puesta en contacto comprende exponer el uno o más compuestos de magnesio capaces de reaccionar con el dióxido de carbono y secuestrarlo a un gas de combustión que comprende dióxido de carbono, tal como un gas de combustión producido durante el proceso para producir el uno o más compuestos de magnesio capaces de reaccionar con el dióxido de carbono y secuestrarlo, para producir carbonato de magnesio. En la modalidad 18 se proporciona el método de la modalidad 16 donde la puesta en contacto comprende exponer el uno o más compuestos de magnesio capaces de reaccionar con el dióxido de carbono y secuestrarlo al aire que comprende dióxido de carbono, para producir carbonato de magnesio. En la modalidad 19 se proporciona el método de la modalidad 16 donde la puesta en contacto comprende colocar el uno o más compuestos de magnesio capaces de reaccionar con el dióxido de carbono y secuestrarlo en una masa de agua, tal

como un océano, para su reacción con dióxido de carbono en la masa de agua para producir bicarbonato de magnesio.

[0187] En la modalidad 20 se proporciona un método para obtener un crédito de carbono que comprende: (a) calcular un valor de dióxido de carbono (CO₂) neto evitado y/o un valor de CO₂ neto secuestrado mediante (i) la realización del método de cualquiera de las modalidades 1-18, 27-72 o 139-161; (ii) el seguimiento de una o más cantidades de CO₂ secuestradas, una o más cantidades de CO₂ evitadas y una o más cantidades de CO₂ producidas; (iii) la determinación de la cantidad de CO₂ evitada y/o la cantidad de CO₂ secuestrada a partir de la una o más cantidades de CO₂ secuestradas, una o más cantidades de CO₂ evitadas y producciones de CO₂; y (b) obtener un crédito de carbono basado en el valor del CO₂ evitado y/o secuestrado en (a)(iii). En la modalidad 21 se proporciona el método de la modalidad 20, donde un valor de CO₂ evitado se determina mediante la producción de la misma cantidad de cemento mediante un proceso que comprende calcinar piedra caliza y la comparación con la cantidad de CO₂ producida mediante un proceso de cualquiera de las modalidades 1-18, 27-72 o 139-161. En la modalidad 22 se proporciona el método de la modalidad 20 o 21, donde el valor de CO₂ secuestrado se determina mediante el secuestro de CO₂ con compuestos de Mg y la cuantificación de la cantidad de CO₂ secuestrado por una cantidad determinada de compuestos de Mg. En la modalidad 23 se proporciona el método de la modalidad 22, donde al menos una parte del CO₂ secuestrado es CO₂ atmosférico.

[0188] En la modalidad 24 se proporciona una composición que comprende al menos 50, 60, 70, 80, 90 o 95 % p/p de cloruro de calcio, tal como al menos 90 %, en modalidades preferidas al menos 95 % de cloruro de calcio; y al menos 50, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 o 95 % de sílice, tal como al menos 60 %, preferiblemente al menos 75 %, más preferiblemente al menos 80 % p/p. En la modalidad 25 se proporcionó la composición de la modalidad 24 que comprende menos de 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0,5 o 0,1 % de Cl p/p, en modalidades preferidas menos de 5 %, en una modalidad más preferida menos de 1 %. En la modalidad 26 se proporcionó la composición de la modalidad 24 o 25 que comprende menos de 20, 15, 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0,5 o 0,1 % de CaO p/p, en modalidades preferidas menos de 5 %, en modalidades más preferidas menos de 0,5 %.

[0189] En la modalidad 27 se proporciona un método para declorar un sólido que comprenda cloruro de calcio, que comprende: (i) combinar el sólido que comprenda cloruro de calcio con un sólido que comprenda sílice; y (ii) calentar el cloruro de calcio y la sílice en combinación en presencia de vapor a una temperatura de 750-1250 °C para producir gas de HCl y un producto de calcio declorado. En la modalidad 28 se proporciona el método de la modalidad 27 donde la temperatura es 900-1250 °C. En la modalidad 29 se proporciona el método de la modalidad 27 donde la temperatura es 1000-1250 °C. En la modalidad 30 se proporciona el método de la modalidad 27

donde la temperatura es 1100-1250 °C. En la modalidad 31 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 27 a 30 donde, cuando la temperatura alcanza 700-750 °C, el calentamiento procede a una velocidad de no más de 60, 50, 40, 30, 10 o 5 °C por minuto hasta que se alcanza una temperatura de 800-850 °C. En la modalidad 32 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 27 a 31, donde el sólido que comprende cloruro de calcio y el sólido que comprende sílice se combinan de forma tal que se alcance una relación molar Ca-Si de entre 2,5 y 3,5. En la modalidad 33 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 27 a 31 donde el sólido que comprende cloruro de calcio está presente en un 50-90 %p y la sílice está presente en un 10-40 %p. En la modalidad 34 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 27 a 33 donde el sólido que comprende cloruro de calcio comprende al menos 80, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98 o 99 % de cloruro de calcio, preferiblemente al menos 90 %, más preferiblemente al menos 95 %. En la modalidad 35 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 27 a 34 donde el sólido que comprende sílice comprende al menos 50, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 o 95 % de sílice, preferiblemente al menos 60 %, más preferiblemente al menos 75 %, incluso más preferiblemente al menos 80 %. En la modalidad 36 se proporciona el método de la modalidad 35 donde el sólido que comprende cloruro de calcio comprende al menos 90 % de cloruro de calcio y el sólido que comprende sílice comprende al menos 80 % de sílice. En la modalidad 37 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 27 a 36 donde el vapor está presente en 5-100 %vol. En la modalidad 38 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 27 a 37 donde el contenido de cloruro se reduce al menos 60, 70, 80, 90, 95, 96, 97, 98 o 99 %, preferiblemente al menos 90 %, más preferiblemente al menos 95 %, incluso más preferiblemente al menos 99 %. En la modalidad 39 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 27 a 38, donde el producto de calcio declorado comprende al menos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 u 80 %p de silicato dicálcico, preferiblemente al menos 15 %, más preferiblemente al menos 25 %, de silicato dicálcico y menos de 30, 20, 15, 12, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 o 1 %p de CaO, preferiblemente menos de 10 %, más preferiblemente menos de 5 % de CaO. En la modalidad 40 se proporciona el método de la modalidad 40 donde el producto de calcio declorado comprende al menos un 15 % de silicato dicálcico y menos de un 10 % de CaO.

[0190] En la modalidad 41 se proporciona un método para producir un clínker a partir de un sólido que comprende cloruro de calcio que comprende: (a) declorar el sólido que comprende cloruro de calcio para producir una composición declorada que comprende Ca y tiene menos de 10 % p/p de Cl; y (b) calentar la composición declorada en presencia de un fundente para producir un clínker. En la modalidad 42 se proporciona el método de la modalidad 41 donde el clínker comprende silicato dicálcico y silicato tricálcico. En la modalidad 43 se proporciona el método de la modalidad 41 o 42

donde el clinker comprende clinker de cemento de Pórtland. En la modalidad 44 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 41 a 43 donde la composición que comprende cloruro de calcio también comprende sílice. En la modalidad 45 se proporciona el método de la modalidad 44 donde la relación molar de Ca:Si en la composición que comprende cloruro de calcio y sílice es de 1,0 a 5,0, preferiblemente de 2,0 a 4,0, más preferiblemente de 2,5 a 3,25. En la modalidad 46 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 41 a 45 donde la composición que comprende cloruro de calcio comprende al menos 80, 90, 92, 95, 96, 97, 98 o 99 % de cloruro de calcio, preferiblemente al menos 80 %, más preferiblemente al menos 90 %, incluso más preferiblemente al menos 95 %. En la modalidad 47 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 41 a 46 donde la composición declorada comprende menos de 30, 20, 10, 8, 5, 4, 3, 2 o 1 % de CaO, preferiblemente menos de 10 %, más preferiblemente menos de 5 %. En la modalidad 48 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 41 a 47 donde la composición declorada comprende no más de 10, 8, 6, 5, 4, 3, 2 o 1 % de Cl en peso, preferiblemente no más de 10 %, más preferiblemente no más de 5 %, incluso más preferiblemente no más de 1 %.

En la modalidad 49 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 41 a 48 donde la composición declorada comprende al menos 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 o 40 % de silicato dicálcico, preferiblemente al menos 15 %, más preferiblemente al menos 25 %. En la modalidad 50 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 41 a 49 donde la composición que comprende cloruro de calcio comprende calentar la composición. En la modalidad 51 se proporciona el método de la modalidad 50 que comprende además introducir vapor cuando la composición que comprende cloruro de calcio alcanza una temperatura de 300 °C o superior. En la modalidad 52 se proporciona el método de la modalidad 51 donde calentar la composición que comprende cloruro de calcio en presencia de vapor comprende calentar a una temperatura de al menos 750 °C y/o no más de 1250 °C. En la modalidad 53 se proporciona el método de la modalidad 52 donde el calentamiento es a una velocidad de no más de 100, 80, 50, 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5 o 1°/min o más baja entre 700-750 °C y 800-1000°. En la modalidad 54 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 41 a 53 donde se produce HCl durante la decloración. En la modalidad 55 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 41 a 54 donde el fundente comprende compuestos de hierro y/o aluminio. En la modalidad 56 se proporciona el método de la modalidad 55 donde los compuestos de aluminio comprenden Al_2O_3 y/o los compuestos de hierro comprenden Fe_2O_3 . En la modalidad 57 se proporciona el método de la modalidad 55 o la modalidad 56 donde los compuestos de hierro y/o los compuestos de aluminio y la composición que comprende cloruro de calcio son producidos a partir de los mismos materiales iniciales. En la modalidad 58 se proporciona el método de la modalidad 57, donde el material inicial comprende rocas y/o minerales

con calcio. En la modalidad 59 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 44 a 58 donde la sílice es producida a partir de los mismos materiales iniciales tales como aquellos para la composición que comprende cloruro de calcio. En la modalidad 60 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 41 a 59 donde el calentamiento de la composición declorada en presencia de fundente comprende calentar la composición a 1200-1600, preferiblemente 1400-1600 °C. En la modalidad 61 se proporciona el método de la modalidad 60 que comprende calentar la composición a 1500-1600 °C. En la modalidad 62 se proporciona el método de la modalidad 60 que comprende calentar la composición a 1450-1500 °C. En la modalidad 63 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 41 a 62 donde la decloración y/o el calentamiento de la composición declorada se realizan en un horno. En la modalidad 64 se proporciona el método de la modalidad 63 donde el horno comprende un horno giratorio.

[0191] En la modalidad 65 se proporciona un método para producir clínker que comprende calentar una composición que comprende silicato dicálcico y no más de 20, 15, 10, 5, 2 o 1 % de CaO, tal como no más de 10 % de CaO, en presencia de fundente para producir clínker. En la modalidad 66 se proporciona el método de la modalidad 65 donde la composición contiene menos de 5, 4, 3, 2, 1, 0,5 o 0,1 %p de silicato tricálcico, preferiblemente menos de 1 %, más preferiblemente menos de 0,1 %, y el clínker comprende al menos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 o 60 % de silicato tricálcico, preferiblemente al menos 20 %, más preferiblemente al menos 50 %. En la modalidad 67 se proporciona el método de la modalidad 65 o 66 donde el fundente comprende óxidos de aluminio y/o hierro.

[0192] En la modalidad 68 se proporciona un método para producir clínker y material cementicio complementario (SCM) a partir de un material inicial que comprende un material no calcáreo que contiene calcio y silicio, que comprende: (i) disolver el material no calcáreo en HCl para producir una fracción líquida rica en calcio que comprenda cloruro de calcio y una fracción sólida pobre en calcio que comprenda sílice; (ii) producir el SCM a partir de la fracción sólida pobre en calcio que comprenda sílice; y (iii) producir clínker a partir de la fracción líquida rica en calcio que comprenda cloruro de calcio. En la modalidad 69 se proporciona el método de la modalidad 68 que comprende además la producción de áridos a partir del material no calcáreo. En la modalidad 70 se proporciona el método de la modalidad 68 o la modalidad 69 que comprende además la producción de cemento a partir del clínker. En la modalidad 71 se proporciona el método de la modalidad 70 que comprende además combinar el cemento, los áridos y el agua para producir hormigón. En la modalidad 72 se proporciona el método de la modalidad 71 que comprende además combinar el SCM con el cemento, los áridos y el agua para producir hormigón.

[0193] En la modalidad 73 se proporciona un aparato para producir clínker a partir de materiales

no calcáreos que comprende (i) un primer procesador configurado para tratar los materiales iniciales no calcáreos para producir una composición sólida que comprende cloruro de calcio, conectado de manera operativa con (ii) un segundo procesador configurado para formar un clínker a partir de la composición sólida que comprende cloruro de calcio. En la modalidad 74 se proporciona el aparato

5 de la modalidad 73 donde el primer procesador comprende (a) un lixiviador configurado para poner en contacto el material no calcáreo con un ácido para producir una primera fracción líquida rica en calcio y una fracción sólida pobre en calcio, conectado de manera operativa con (b) un precipitador configurado para eliminar una o más sales no cálcicas de la fracción rica en calcio mediante la conversión de la una o más sales no cálcicas en forma sólida que se eliminan de la fracción rica en calcio; y (c) un deshidratador configurado para eliminar el agua de la fracción líquida rica en calcio

10 procedente del precipitador, para producir el sólido que comprende cloruro de calcio. En la modalidad 75 se proporciona el aparato de la modalidad 73 o la modalidad 74 donde el primer procesador comprende además un procesador de material configurado para procesar material inicial no calcáreo, conectado de manera operativa con el lixiviador. En la modalidad 76 se proporciona el

15 aparato de la modalidad 75 donde el procesador de material está configurado para reducir el tamaño del material no calcáreo y/o clasificar el material en uno o más intervalos de tamaño. En la modalidad 77 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 74 a 76 donde el primer procesador comprende además un tanque de almacenamiento de ácido conectado de manera operativa con el lixiviador. En la modalidad 78 se proporciona el aparato de cualquiera de las

20 modalidades 74 a 77 donde el lixiviador comprende un elemento de calentamiento. En la modalidad 79 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 74 a 78 donde el lixiviador comprende un agitador. En la modalidad 80 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 74 a 79 donde el lixiviador comprende además un primer separador, conectado de manera operativa con el lixiviador y con el precipitador, con una configuración adecuada para

25 separar la fracción líquida rica en calcio y la fracción sólida pobre en calcio, y dirigir la fracción líquida rica en calcio al precipitador. En la modalidad 81 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 74 a 80 donde el precipitador está conectado de manera operativa con un segundo separador para separar el sólido de la fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 82 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 74 a 81 donde el precipitador comprende

30 una primera unidad de precipitación que es una unidad de precipitación de base configurada para precipitar un primer conjunto de compuestos no cálcicos. En la modalidad 83 se proporciona el aparato de la modalidad 82 que comprende además una o más fuentes de base conectadas de manera operativa con la primera unidad de precipitación. En la modalidad 84 se proporciona el aparato de la modalidad 83 donde la una o más fuentes de base comprenden una fuente de base

de calcio. En la modalidad 85 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 82 a 85 donde el precipitador comprende una segunda unidad de precipitación que es una unidad de precipitación con pirohidrólisis configurada para precipitar un segundo conjunto de compuestos no cálcicos a partir de la fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 86 se proporciona el aparato

5 de la modalidad 85 donde la segunda unidad de precipitación está conectada de manera operativa con un tercer separador para separar el segundo conjunto de compuestos no cálcicos precipitados de la fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 87 se proporciona el aparato de la modalidad 85 o la modalidad 86 donde el precipitador comprende una tercera unidad de precipitación que es una unidad de pirohidrólisis para precipitar un tercer conjunto de compuestos no cálcicos a partir de la

10 fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 88 se proporciona el aparato de la modalidad 87 donde la tercera unidad de precipitación está conectada de manera operativa con un cuarto separador para separar el tercer conjunto de compuestos no cálcicos precipitados de la fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 89 se proporciona el aparato de la modalidad 87 o la modalidad 88 donde la segunda y tercera unidad de precipitación son iguales y el segundo y tercer

15 conjuntos de compuestos no cálcicos precipitados son iguales. En la modalidad 90 se proporciona el aparato de la modalidad 87 o la modalidad 88 donde la segunda y tercera unidades de precipitación son diferentes, y la segunda unidad de precipitación está configurada para precipitar compuestos de aluminio al calentar el líquido rico en calcio hasta una primera temperatura o un primer intervalo de temperaturas y la tercera unidad de precipitación está configurada para precipitar

20 compuestos de hierro al calentar el líquido rico en calcio hasta una segunda temperatura o un segundo intervalo de temperaturas, superiores a los primeros. En la modalidad 91 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 74 a 90 donde el deshidratador comprende un elemento de calentamiento. En la modalidad 92 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 73 a 91 donde el segundo procesador comprende (a) un declorador configurado para declorar el sólido que comprende CaCl_2 para producir un sólido declorado que comprende compuestos de calcio,

25 conectado de manera operativa con (b) un clinkerizador configurado para calentar el sólido declorado en presencia de fundente para producir un clínker. En la modalidad 93 se proporciona el aparato de la modalidad 92 donde el declorador está configurado para producir un sólido declorado que comprende compuestos de calcio y menos de 20, 15, 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 o 1 %p de Cl. En la

30 modalidad 94 se proporciona el aparato de la modalidad 92 o la modalidad 93 donde la fuente de base comprende sólido declorado del declorador y/o clínker de cemento del horno de cemento. En la modalidad 95 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 92 a 94 donde el declorador está conectado de manera operativa con (1) una o más fuentes de vapor; y (2) una o más fuentes de sílice. En la modalidad 96 se proporciona el aparato de la modalidad 95 donde la una o

- más fuentes de vapor comprenden el deshidratador del primer procesador. En la modalidad 97 se proporciona el aparato de la modalidad 95 o la modalidad 96 donde la una o más fuentes de sílice comprenden el primer procesador o una parte de este. En la modalidad 98 se proporciona el aparato de la modalidad 97 donde el primer procesador o la parte de este comprenden el primer separador.
- 5 En la modalidad 99 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 92 a 98 donde el clinkerizador está conectado de manera operativa con una o más fuentes de fundente; en la modalidad 100 se proporciona el aparato de la modalidad 99 donde la una o más fuentes de fundente comprenden el primer procesador o parte de este. En la modalidad 101 se proporciona el aparato de la modalidad 100 donde la una o más fuentes de vapor comprenden el precipitador. En la
- 10 modalidad 102 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 92 a 101, donde el declorador y/o el clinkerizador comprenden un horno giratorio. En la modalidad 103 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 92 a 102 que comprende además un procesador de clínker para procesar el clínker procedente del clinkerizador. En la modalidad 104 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 73 a 102 que comprende además un sistema de control,
- 15 donde el sistema de control comprende (i) una o más fuentes de entrada del primer procesador y/o del segundo procesador; (ii) un procesador para procesar la entrada de la una o más fuentes de entrada y proporcionar una salida; y (iii) uno o más accionadores para recibir la salida y modular una o más operaciones del primer procesador y/o del segundo procesador. En la modalidad 105 se proporciona el aparato de la modalidad 104 donde la una o más fuentes de entrada comprenden
- 20 uno o más sensores, tales como uno o más sensores de temperatura para detectar una temperatura del lixiviador, el deshidratador, el declorador y/o el clinkerizador, o una parte de estos. En la modalidad 106 se proporciona el aparato de la modalidad 104 o la modalidad 105 donde los accionadores comprenden uno o más accionadores que modulan el funcionamiento de un elemento de calentamiento para el lixiviador, el deshidratador, el declorador y/o el clinkerizador.
- 25 **[0194]** En la modalidad 107 se proporciona una red que comprende múltiples aparatos de cualquiera de las modalidades 73 a 106, donde los aparatos están separados en el espacio y donde cada aparato envía información a un controlador y/o a controladores comunes.
- [0195]** En la modalidad 108 se proporciona un aparato para producir un sólido que comprende cloruro de calcio a partir de materiales no calcáreos que comprenden calcio, donde el aparato
- 30 comprende un procesador configurado para tratar los materiales iniciales no calcáreos para producir el sólido que comprende cloruro de calcio. En la modalidad 109 se proporciona el aparato de la modalidad 108 donde el procesador comprende (a) un lixiviador configurado para poner en contacto los materiales no calcáreos con un ácido para producir una primera fracción líquida rica en calcio y una fracción sólida pobre en calcio, conectado de manera operativa con (b) un precipitador

configurado para eliminar una o más sales no cálcicas de la fracción rica en calcio mediante la conversión de la una o más sales no cálcicas en forma sólida que se eliminan de la fracción rica en calcio; y (c) un deshidratador configurado para eliminar el agua de la fracción líquida rica en calcio procedente del precipitador, para producir un sólido que comprende cloruro de calcio. En la

5 modalidad 110 se proporciona el aparato de la modalidad 108 o la modalidad 109 donde el procesador comprende además un procesador de material configurado para procesar material inicial no calcáreo, conectado de manera operativa con el lixiviador. En la modalidad 111 se proporciona el aparato de la modalidad 110 donde el procesador de material está configurado para reducir el tamaño del material no calcáreo y/o clasificar el material en uno o más intervalos de tamaño. En la

10 modalidad 112 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 109 a 111 donde el procesador comprende además un tanque de almacenamiento de ácido conectado de manera operativa con el lixiviador. En la modalidad 113 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 109 a 112 donde el lixiviador comprende un elemento de calentamiento. En la modalidad 114 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 109 a 113 donde el

15 lixiviador comprende un agitador. En la modalidad 115 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 109 a 114 donde el lixiviador comprende además un primer separador, conectado de manera operativa con el lixiviador y con el precipitador, con una configuración adecuada para separar la fracción líquida rica en calcio y la fracción sólida pobre en calcio, y dirigir la fracción líquida rica en calcio al precipitador. En la modalidad 116 se proporciona el aparato de cualquiera de las

20 modalidades 109 a 115 donde el precipitador está conectado de manera operativa con un segundo separador para separar el sólido de la fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 117 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 109 a 116 donde el precipitador comprende una primera unidad de precipitación que es una unidad de precipitación de base configurada para precipitar un primer conjunto de compuestos no cálcicos. En la modalidad 118 se proporciona el

25 aparato de la modalidad 117 que comprende además una o más fuentes de base conectadas de manera operativa con la primera unidad de precipitación. En la modalidad 119 se proporciona el aparato de la modalidad 118 donde la una o más fuentes de base comprenden una fuente de base de calcio. En la modalidad 120 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 109 a 120 donde el precipitador comprende una segunda unidad de precipitación que es una unidad de

30 precipitación con pirohidrólisis configurada para precipitar un segundo conjunto de compuestos no cálcicos a partir de la fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 121 se proporciona el aparato de la modalidad 121 donde la segunda unidad de precipitación está conectada de manera operativa con un tercer separador para separar el segundo conjunto de compuestos no cálcicos precipitados de la fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 122 se proporciona el aparato de la

modalidad 120 o la modalidad 121 donde el precipitador comprende una tercera unidad de precipitación que es una unidad de pirohidrólisis para precipitar un tercer conjunto de compuestos no cálcicos a partir de la fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 123 se proporciona el aparato de la modalidad 122, donde la tercera unidad de precipitación está conectada de manera operativa con un cuarto separador para separar el tercer conjunto de compuestos no cálcicos precipitados de la fracción líquida rica en calcio. En la modalidad 124 se proporciona el aparato de la modalidad 122 o la modalidad 123 donde la segunda y tercera unidad de precipitación son iguales y el segundo y tercer conjuntos de compuestos no cálcicos precipitados son iguales. En la modalidad 125 se proporciona el aparato de la modalidad 122 o la modalidad 123 donde la segunda y tercera unidades de precipitación son diferentes, y la segunda unidad de precipitación está configurada para precipitar compuestos de aluminio al calentar el líquido rico en calcio hasta una primera temperatura o un primer intervalo de temperaturas y la tercera unidad de precipitación está configurada para precipitar compuestos de hierro al calentar el líquido rico en calcio hasta una segunda temperatura o un segundo intervalo de temperaturas, superiores a los primeros. En la modalidad 126 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 109 a 125 donde el deshidratador comprende un elemento de calentamiento.

[0196] En la modalidad 127 se proporciona un aparato para producir clínker a partir de un sólido que comprende cloruro de calcio, donde el aparato comprende (a) un declorador configurado para declorar el sólido que comprende cloruro de calcio para producir un sólido declorado que comprende compuestos de calcio, conectado de manera operativa con (b) un clínker configurado para calentar el sólido declorado en presencia de fundente para producir un clínker. En la modalidad 128 se proporciona el aparato de la modalidad 127 donde el declorador está configurado para producir un sólido declorado que comprende compuestos de calcio y menos de 20, 15, 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 o 1 %p de Cl. En la modalidad 129 se proporciona el aparato de la modalidad 127 o la modalidad 128 donde el declorador está conectado de manera operativa con (1) una o más fuentes de vapor; y (2) una o más fuentes de sílice. En la modalidad 130 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 127 a 129 donde el clinkerizador está conectado de manera operativa con una o más fuentes de fundente; en la modalidad 131 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 127 a 130 donde el declorador y/o el clinkerizador comprende un horno giratorio. En la modalidad 132 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 127 a 131 que comprende además un procesador de clínker para procesar el clínker procedente del horno de cemento. En la modalidad 133 se proporciona el aparato de cualquiera de las modalidades 127 a 132 que comprende además un sistema de control, donde el sistema de control comprende (i) una o más fuentes de entrada del declorador y/o del clinkerizador; (ii) un procesador para procesar la

entrada de la una o más fuentes de entrada y proporcionar una salida; y (iii) uno o más accionadores para recibir la salida y modular una o más operaciones del declorador y/o del clinkerizador. En la modalidad 134 se proporciona el aparato de la modalidad 133 donde la una o más fuentes de entrada comprenden uno o más sensores, tales como uno o más sensores de temperatura para

5 detectar una temperatura del declorador y/o del clinkerizador, o una parte de estos. En la modalidad 135 se proporciona el aparato de la modalidad 133 o la modalidad 134 donde los accionadores comprenden uno o más accionadores que modulan el funcionamiento de un elemento de calentamiento para el declorador y/o el clinkerizador.

[0197] En la modalidad 136 se proporciona un sistema que comprende: (a) un primer procesador configurado para producir cemento a partir de un material no calcáreo; (b) un segundo procesador configurado para producir SCM a partir del material no calcáreo. En la modalidad 137 se proporciona el sistema de la modalidad 136 que comprende además (c) un tercer procesador para producir áridos a partir del material no calcáreo. En la modalidad 138 se proporciona el sistema de la modalidad 136 y la modalidad 137 donde el primer y segundo procesadores son iguales.

15 **[0198]** En la modalidad 139 se proporciona un método para producir clínker que comprende (a) disolver un material no calcáreo que comprende calcio en ácido para producir una fracción líquida rica en calcio que comprende cloruro de calcio y una fracción sólida pobre en calcio; (b) separar la fracción sólida pobre en calcio de la fracción líquida rica en calcio; (c) producir un sólido que comprende cloruro de calcio a partir del líquido rico en calcio; y (d) tratar el sólido que comprende

20 cloruro de calcio para formar clínker. En la modalidad 140 se proporciona el método de la modalidad 139 donde el material no calcáreo también comprende silicio. En la modalidad 141 se proporciona el método de la modalidad 139 o la modalidad 140 donde el material no calcáreo comprende rocas y/o minerales. En la modalidad 142 se proporciona el método de la modalidad 141, donde el material no calcáreo que comprende rocas y/o minerales comprende anortosita, skarn, gabro, piroxenita, mafurita, basalto, skarn de cobre, skarn de tungsteno, roca de cantera, roca

25 máfica, roca ultramáfica, o una combinación de estas opciones. En la modalidad 143 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 139 a 142, donde no más de 40, 30, 20, 15, 10, 5, 4, 3, 2 o 1 % del calcio en el material inicial está presente como carbonato de calcio, preferiblemente no más de 10 %, más preferiblemente no más de 5 %. En la modalidad 144 se proporciona el método

30 de cualquiera de las modalidades 139 a 143, donde el material inicial comprende además aluminio, hierro y/o magnesio. En la modalidad 145 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 139 a 144, donde el método produce menos del 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 o 5 % de CO₂ emitido en comparación con la producción de la misma cantidad de cemento hidráulico a partir de piedra caliza mediante un proceso que comprende la calcinación de la piedra caliza. En

la modalidad 146 se proporciona el método de la modalidad 145, donde el método produce menos del 80 % de CO₂ emitido. En la modalidad 147 se proporciona el método de la modalidad 145, donde el método produce menos del 60 % de CO₂ emitido. En la modalidad 148 se proporciona el método de la modalidad 145, donde el método produce menos del 40 % de CO₂ emitido. En la

5 modalidad 149 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 139 a 148, donde el método produce además un material cementicio complementario (SCM), un derivado de Mg, y/o un árido. En la modalidad 150 se proporciona el método de la modalidad 149, donde el SCM, el derivado de Mg y/o el árido se producen a partir del mismo material inicial que el utilizado para producir el cemento. En la modalidad 151 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 139 a

10 151 donde el ácido comprende HCl, HBr, HI, HNO₃, o una combinación de estos. En la modalidad 152 se proporciona el método de la modalidad 151, donde el ácido comprende al menos 80, 90, 95, 99 o 100 % de HCl. En la modalidad 153 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 139 a 152, donde el ácido se encuentra en una concentración de 10-37 %. En la modalidad 154 se proporciona el método de la modalidad 153, donde la concentración del ácido es

15 de 15-25 %. En la modalidad 155 se proporciona el método de la modalidad 153, donde la concentración del ácido es de 20 %. En la modalidad 156 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 139 a 155 donde la producción de un sólido que comprende un compuesto de calcio que comprende cloruro de calcio a partir del líquido rico en calcio comprende la precipitación de uno o más compuestos que comprenden aluminio, hierro y/o magnesio a partir del líquido rico en

20 calcio. En la modalidad 157 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 139 a 156 donde la producción de un sólido que comprende compuestos de calcio que comprenden cloruro de calcio a partir del líquido rico en calcio comprende deshidratar el líquido para producir el sólido que comprende cloruro de calcio. En la modalidad 158 se proporciona el método de cualquiera de las modalidades 139 a 157 donde el tratamiento del sólido que comprende cloruro de calcio para formar

25 clínker comprende declorar el sólido que comprende cloruro de calcio para producir un sólido declorado que comprende compuestos de calcio. En la modalidad 159 se proporciona el método de la modalidad 158 donde la decloración comprende calentar el sólido que comprende cloruro de calcio en presencia de vapor y sílice. En la modalidad 160 se proporciona el método de la modalidad 158 o la modalidad 159 que comprende además tratar el sólido declorado que comprende

30 compuestos de calcio para producir un clínker. En la modalidad 161 se proporciona el método de la modalidad 160 donde el tratamiento comprende calentar el sólido declorado que comprende compuestos de calcio en presencia de fundente.

[0199] A lo largo de la descripción, cuando se describe que las composiciones tienen, incluyen o comprenden componentes específicos, o cuando se describe que los procesos y métodos tienen,

incluyen o comprenden etapas específicas, se contempla que, además, haya composiciones de la presente invención que consistan esencialmente en, o consistan en, los componentes mencionados, y que haya procesos y métodos de acuerdo con la presente invención que consistan esencialmente en, o consistan en, las etapas de procesamiento mencionadas.

5 **[0200]** En la solicitud, cuando se dice que un elemento o componente está incluido en una lista de elementos o componentes citados y/o se selecciona dentro de esta, debe entenderse que el elemento o componente puede ser cualquiera de los elementos o componentes citados, o que el elemento o componente puede seleccionarse dentro de un grupo formado por dos o más de los elementos o componentes citados.

10 **[0201]** Además, se debe entender que los elementos y/o las características de una composición o un método que se describe en el presente documento pueden combinarse de diversas maneras sin apartarse del espíritu y alcance de la presente invención, ya sea de forma explícita o implícita en el presente documento. Por ejemplo, cuando se hace referencia a un compuesto en particular, ese compuesto puede utilizarse en diversas modalidades de composiciones de la presente invención y/o
15 en métodos de la presente invención, a menos que se entienda lo contrario a partir del contexto. En otras palabras, dentro de la presente solicitud, las modalidades se han descrito y representado de una manera que permite escribir y dibujar una solicitud clara y concisa, pero se pretende y se apreciará que las modalidades pueden combinarse o separarse de diversas maneras sin apartarse de las indicaciones de la presente y la o las invenciones. Por ejemplo, se apreciará que todas las
20 características descritas y representadas en el presente documento pueden ser aplicables a todos los aspectos de la o las invenciones descritas e ilustradas en el presente documento.

[0202] Se entenderá que el uso de los artículos «un», «una», «el» y «la» y referencias similares en el contexto de la descripción de la invención (especialmente en el contexto de las reivindicaciones a continuación) abarca el singular y el plural, salvo que se indique lo contrario en el presente
25 documento o el contexto lo contradiga claramente. Por ejemplo, la expresión «una célula» incluye múltiples células, incluidas las mezclas de estas. Cuando se utilice la forma plural para compuestos, sales y similares, se entenderá que se trata también de un único compuesto, sal o similar.

[0203] Se debe entender que la expresión «al menos uno/a de» incluye individualmente cada uno de los objetos citados después de la expresión y las diversas combinaciones de dos o más de
30 los objetos mencionados, a menos que se entienda lo contrario a partir del contexto y del uso. Se debe entender que la expresión «y/o», en relación con tres o más objetos citados, tiene el mismo significado, a menos que se entienda lo contrario a partir del contexto.

[0204] El uso de las expresiones «incluir», «incluye», «que incluye», «tener», «tiene», «que tiene», «contener», «contiene» o «que contiene», incluidos sus equivalentes gramaticales, debe

entenderse en general como abierto y no taxativo, por ejemplo, sin exclusión elementos o etapas adicionales que no se citen, a menos que se indique específicamente lo contrario o que se entienda lo contrario a partir del contexto.

[0205] Cuando el uso de las expresiones «alrededor de», «aproximadamente» o similares se da antes de un valor cuantitativo, la presente invención también incluye el valor cuantitativo específico en sí, a menos que se indique específicamente lo contrario. Tal como se usa en el presente documento, la expresión «alrededor de» hace referencia a una variación de $\pm 10\%$ con respecto al valor nominal a menos que se indique o deduzca lo contrario.

[0206] Se debe entender que el orden de las etapas o el orden para realizar determinadas acciones es irrelevante, siempre y cuando la presente invención siga siendo realizable. Además, se pueden realizar simultáneamente dos o más etapas o acciones.

[0207] El uso de todos y cada uno de los ejemplos, o lenguaje ilustrativo en el presente documento, por ejemplo, «tal/es como» o «que incluye», tiene como objetivo simplemente ilustrar mejor la presente invención y no representa una limitación en el alcance de la invención a menos que se reivindique. No se debe interpretar que alguna parte de la redacción de la memoria descriptiva indique la esencialidad de cualquier elemento no reivindicado para la puesta en práctica de la presente invención.

EJEMPLOS

Ejemplo 1

[0208] En este ejemplo, se demostró una lixiviación altamente eficiente de calcio a partir de roca no calcárea.

[0209] Los siguientes parámetros de lixiviación se utilizaron en rocas que contenían Ca, lo cual proporcionó una extracción de Ca $>90\%$, medida mediante espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES, por su sigla en inglés). El balance de masa de calcio se cerró mediante medición de fluorescencia de rayos X (XRF, por su sigla en inglés) en la roca inicial y en el residuo de lixiviación.

Roca	Tamaño de las partículas (um)	[HCl] (%p)	Densidad de la pulpa %p (s) (g/mL)	Temperatura (C)	Tiempo (h)	Agitación (RPM)	Rendimiento de Ca (%)
------	-------------------------------	------------	------------------------------------	-----------------	------------	-----------------	-----------------------

Anortosita	63	20	29	100	9	250	99,05
Gabbro	63	30	10	100	24	250	92,13
Skarn	N/A	20	21	100	24	250	97,34

[0210] En todos los casos, el rendimiento de calcio de la roca fue superior al 90 %, y superior al 95 % y al 99 % para el skarn y la anortosita, respectivamente. Por lo tanto, el tratamiento con HCl puede utilizarse para extraer un alto porcentaje de calcio de una variedad de rocas no calcáreas.

5 Ejemplo 2

[0211] En este ejemplo, se demostró la precipitación preferencial de componentes no cálcicos a partir de una solución que contenía calcio.

[0212] Se preparó una solución de prueba de la siguiente composición mediante la adición de CaCl_2 a un lixiviado producido como en el Ejemplo 1. Su composición era:

Compuesto	CaCl_2	FeCl_3	MgCl_2	AlCl_3	H ₂ O para añadir
Peso real (g)	150,06	15	100,45	15,01	235,71

10 **[0213]** Al calentar la solución anterior (oligoelementos no enumerados) hasta 150 °C durante dos horas se precipitó un sólido muy empobrecido en Ca y enriquecido en hierro y aluminio. Estos datos indican que los componentes sin Mg y sin Ca pueden eliminarse considerablemente mediante hidrólisis. La composición del precipitante medida mediante XRF fue:

Al_2O_3	41,4
Fe_2O_3	20,5
CaO	2,98
MgO	1,01
SiO_2	0,756
Cl	0,620
SO_3	0,166
TiO_2	0,143
MnO	0,0582
P_2O_5	0,0431
K_2O	0,0320
Cr_2O_3	0,0231
Pérdida por ignición (%):	32,23

[0214]
[0215]

15 Se puede observar que la composición del precipitante está muy enriquecida en

componentes de hierro y aluminio, con cantidades muy bajas de componentes de calcio y magnesio, lo que demuestra la eliminación selectiva de hierro y aluminio mediante el calentamiento de la solución.

5 Ejemplo 3

[0216] En este ejemplo, se demostró la producción de silicato dicálcico y tricálcico a partir de una composición derivada de una roca no calcárea, así como una eliminación extremadamente alta de cloruro.

10 **[0217]** Se mezcló CaCl_2 con SiO_2 (producido a partir de la lixiviación de una roca de anortosita) en una relación molar CaCl_2 : SiO_2 de 3:1. El material se colocó en un crisol y se calentó en secuencia hasta 850 °C, 1000 °C, 1200 °C y 1500 °C durante una hora mediante el uso de una atmósfera de vapor en todas las temperaturas excepto 1500 °C. Tanto el silicato dicálcico como el silicato tricálcico se produjeron en cantidades significativas, tal como se midió mediante difracción de rayos X (XRD, por su sigla en inglés) (abajo).

Ca_2SiO_4 (Larnita)	36,4
Ca_2SiO_4 (Calcio-Olivina I) **	7,2
Ca_2SiO_4 (Calcio-Olivina II) **	11,1
Ca_3SiO_5 (Hatrurita)	4,9
$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ (Óxido de calcio y aluminio)	--
CaAl_2O_4 (Krotita)*	--
Contenido amorfo	40,4

15 **[0218]**
[0219]

También se demostró que, sorprendentemente, se pudo declorar CaCl_2 hasta >99,5 %, tal como se muestra mediante XRF.

CaO	66,2
SiO ₂	31,4
Al ₂ O ₃	1,89
MgO	0,189
Fe ₂ O ₃	0,0519
Cl	0,0348
ZrO ₂	--
Pérdida por ignición (%):	0,28

[0220]

[0221]

Por lo tanto, en este ejemplo se mostró la producción de material sólido que comprendía silicato dicálcico y tricálcico, así como el agotamiento del cloruro hasta un nivel muy por debajo de las normas para el cemento de Pórtland.

5

Ejemplo 4

[0222] *Producción en laboratorio de clínker de cemento de Pórtland mediante una vía alternativa*

[0223] El material de suministro inicial era una mezcla de CaCl₂, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ con una relación molar Ca-Si en el intervalo de 2,5 a 3,25, y las cantidades de Al₂O₃-Fe₂O₃ se ajustaron para cumplir con los requisitos del cemento de Pórtland/clínker particular deseado como producto final. El material de suministro se sometió a un proceso de alta temperatura de 2 etapas para producir material clinkerizado, que cumpliera con diversos requisitos de composición química del cemento de Pórtland, en función de las relaciones iniciales. El proceso de la primera etapa fue la decloración. En la decloración, la mezcla se sometió a reacción con vapor sobrecalentado (de 5 %vol. a 100 %vol.) a temperaturas en el intervalo de 750 °C a 1250 °C. Se puede producir una decloración adicional a temperaturas más elevadas, p. ej., en el proceso de clinkerización. Téngase en cuenta que el Al₂O₃ y Fe₂O₃ no son componentes esenciales para la decloración y también pueden añadirse posteriormente. El objetivo de la decloración es reducir el contenido de Cl por debajo del 5 %p, y preferiblemente por debajo del 1 %p. A continuación, el producto declorado se somete a clinkerización a temperaturas en el intervalo de 1400 °C-1600 °C para producir clínker que cumpla los requisitos químicos, de composición y de rendimiento de la norma de OPC. La clinkerización del producto declorado también puede realizarse en presencia de vapor de agua, similar al contenido de humedad de los gases de combustión, o superior, lo que puede dar lugar a un clínker con un contenido de Cl residual de menos de 0,01 % en peso.

25 *Procedimiento general de laboratorio para la decloración*

[0224] i. Muestras de CaCl₂, SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃ de pureza conocida se secaron en horno de

mufla/caja a 300 °C durante 2 horas para garantizar que los materiales iniciales estuvieran secos.

[0225] ii. Las muestras secadas se pesaron y se mezclaron en las composiciones deseadas de forma tal que la relación molar Ca-Si estuviera entre 2,5 y 3,25. La cantidad de Al_2O_3 y Fe_2O_3 se calculó teniendo en cuenta la pérdida de masa teórica durante la decoloración.

5 **[0226]** iii. La muestra se pasó por un molino de bolas durante la noche para garantizar la homogeneidad de los componentes químicos. A continuación, la mezcla molida se utilizó como muestra de suministro para la decoloración.

[0227] iv. Se pesó un crisol de platino y la muestra de suministro, pesada en el crisol, se secó a 300 °C durante 2 horas, para garantizar la sequedad. Se precalentó un horno tubular a 300 °C.

10 **[0228]** v. Transcurridas 2 horas, se pesó la muestra+crisol y se introdujo en el horno tubular.

[0229] vi. Luego se programó el horno tubular para alcanzar 850 °C con una velocidad de rampa de alrededor de 10 °C/min. Esta primera temperatura de «inmersión» puede encontrarse en el intervalo de 750 a 1250 °C, dependiendo de los objetivos del experimento. El flujo de vapor se inició a alrededor de 750 °C-800 °C. El flujo de vapor puede iniciarse antes sin efectos nocivos, siempre y
15 cuando T sea >300 °C.

[0230] La velocidad de rampa puede variar de 5 a 20 C, pero suele estar limitada por los hornos de laboratorio, no siempre por los requisitos del proceso. Las muestras pueden calentarse rápidamente hasta ~700-700 C sin efectos nocivos. El calentamiento de ~700 a ~1000 °C generalmente puede realizarse más lentamente para proporcionar tiempo a que la mezcla de
20 $\text{CaCl}_2/\text{SiO}_2$ forme una solución sólida y reaccione con H_2O para decolorar y producir HCl(g) . El calentamiento a una velocidad de rampa de 10 °C/min cumple con el requisito de fusión lenta sin fundir prematuramente la fracción de CaCl_2 antes de que pueda reaccionar con el $\text{H}_2\text{O(g)}$ y $\text{SiO}_2\text{(s)}$.

[0231] vii. La velocidad de flujo de agua hacia el generador de vapor se mantuvo mediante una bomba peristáltica, de forma tal que la cantidad de agua añadida a lo largo del experimento se
25 encontrara en exceso estequiométrico.

[0232] viii. El programa de tratamiento térmico consistía normalmente en 60 minutos de inmersión a 850 °C, 60 minutos a 1000 °C y 120 minutos a 1100 °C. Sin embargo, las condiciones del ciclo de tratamiento térmico suelen variar. Por ejemplo, las condiciones de la reacción de decoloración se han variado entre 750 y 1250 °C con diversas temperaturas intermedias de rampa e
30 inmersión.

[0233] ix. Una vez transcurrido el tiempo de reacción a la temperatura máxima, se interrumpió el flujo de agua y se dejó enfriar el crisol dentro del horno a 10 °C/min. El crisol se retiró a alrededor de 600 °C. Esta etapa fue por seguridad y por conveniencia del laboratorio. La propia muestra puede retirarse del horno al final de la temperatura máxima sin efecto negativo.

[0234] x. El crisol con la muestra se pesó antes de transferir la muestra a un vial de centelleo hermético.

Procedimiento general de laboratorio para la clinkerización

[0235] i. Se pesó un crisol de platino y la muestra declorada, pesada en el crisol, se secó a 300 °C durante 2 horas para garantizar que la muestra estuviera seca. Se precalentó un horno tubular a 300 °C.

[0236] ii. Transcurridas 2 horas, se pesó la muestra+crisol y se introdujo en el horno tubular.

[0237] iii. A continuación, el horno tubular se programó para alcanzar 1500 °C-1600 °C con una velocidad de rampa de alrededor de 10 °C/min. Los intervalos de temperaturas de clinkerización pueden ser de 1400-1600 °C. Para el OPC gris, 1450-1500° es lo típico. Para el OPC blanco, 1500-1600°C es lo típico. La velocidad de rampa se basa en los límites del equipo de laboratorio. La clinkerización puede realizarse mediante la colocación de la muestra directamente en el horno precalentado a temperaturas de clinkerización, y/o la velocidad de rampa puede ser mayor o la temperatura inicial del horno puede ser mayor.

[0238] iv. El flujo de vapor/O₂ se inició a alrededor de 350 °C. La concentración de vapor en el gas de suministro puede variar del 0,5 % al 10 %. Además, el gas de combustión puede utilizarse como fuente de vapor y O₂, en lugar de la mezcla de vapor/O₂.

[0239] v. El ciclo de tratamiento térmico consistió normalmente en 5 horas de inmersión a 1500 °C. El tiempo de clinkerización puede variar, y reducirse potencialmente hasta 15 minutos, dependiendo de las condiciones.

[0240] vi. Transcurrido el tiempo de reacción, se sacó el crisol del horno tubular y se colocó sobre un ladrillo refractario y la temperatura se inactivó al aire.

[0241] vii. El crisol con la muestra de clínker se pesó antes de transferirlo a un vial de centelleo hermético.

[0242] Los materiales se evaluaron mediante XRF y se realizaron cálculos de Bogue. En la **Tabla 1** se presentarán los resultados para diversos materiales iniciales y productos finales.

Tabla 1: Análisis químicos y cálculos de Bogue de suministro, muestras decloradas y clínkers.

		Análisis químicos (%p)						Cálculo de Bogue (%p)			
		CaCl ₂	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cl	C3S	C2S	C3A	C4AF
Prueba 1	Suministro	79,3	-	15,6	0,9	0,5	-	-	-	-	-
	Declor.	-	67,4	26,2	1,4	1,0	2,4	-	-	-	-
	Clínker	-	68,6	27,8	1,6	1,1	0,08	55,0	38,3	2,4	3,4

Prueba 2	Suministro	79,3	-	15,6	0,9	0,5	-	-	-	-	-
	Declor.	-	68,1	26,0	1,4	1,1	2,9	-	-	-	-
	Clínker	-	70,3	26,5	1,5	1,1	0,01	72,9	21,1	2,0	3,5
Prueba 3	Suministro	79,3	-	15,6	0,9	0,5	-	-	-	-	-
	Declor.	-	67,6	25,8	1,5	1,0	3,2	-	-	-	-
	Clínker	-	69,5	27,0	1,6	1,0	0,01	64,7	28,8	2,6	3,1
Prueba 4	Suministro	79,3	-	15,6	0,9	0,5	-	-	-	-	-
	Declor.	-	67,3	25,3	1,5	1,0	4,1	-	-	-	-
	Clínker	-	69,8	27,2	1,4	1,0	0,01	66,4	28,0	2,0	3,0
Prueba 5	Suministro	79,3	-	15,6	0,9	0,5	-	-	-	-	-
	Declor.	-	68,8	25,6	1,5	1,1	1,9	-	-	-	-
	Clínker	-	69,6	27,1	1,6	0,9	0,002	65,4	28,4	2,7	2,7

[0243] En la **Figura 14** se muestran ejemplos de fotomicrografías ópticas de la muestra de clínker obtenida en la Prueba 1. La alita (C3S) en ambas micrografías aparece como regiones oscuras. Las flechas de la micrografía de la derecha señalan las fases de ferrita y aluminato. La flecha de la micrografía de la izquierda señala una de las muchas pequeñas inclusiones marrones de belita (C2S).

[0244] Este ejemplo muestra que el clínker que tiene C3S, C2S, C3A y C4AF de proporciones variables, que cumplen, p. ej., con las normas ASTM para diferentes tipos de cemento, puede producirse a partir de materiales iniciales de cloruro de calcio, sílice, óxido de aluminio y óxido de hierro.

Ejemplo 5

[0245] En este ejemplo, se produjo material cementicio complementario (SCM) a partir de rocas; en un experimento, se produjo SCM que cumplía con los requisitos de ASTM para cenizas volantes; en otro experimento, se produjo SCM que cumplía con los requisitos de ASTM para humo de sílice.

[0246] En la **Figura 15** se describe el diagrama de flujo simplificado para la lixiviación de materiales que contienen Ca. El proceso implicó la recepción del material, la trituración y molienda, la lixiviación, la separación de líquidos/sólidos, el secado y el procesamiento de los sólidos para cumplir con las normas de ASTM. Cada etapa se describirá en subsecciones.

Preparación del material de suministro

[0247] Los materiales de suministro (anortosita de Greenland, Canadá, compuesta por 77,6 %

de anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), 3,4 % de cuarzo (SiO_2), 1,2 % de moscovita o mica afín $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, 0,4 % de caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, y 17,4 % de material amorfo) fueron recibidos en tamaños en el intervalo de 5 pulgadas y cientos de micrómetros. Se examinó el contenido de humedad visible del material recibido; si estaba húmedo o mojado, se secó en una estufa de secado a 110 °C. El material de más de 1000 micrómetros se trituró hasta obtener un P80 de entre 1200 y 1000 micrómetros. A continuación, la roca de suministro se molió hasta alcanzar un P80 de entre 45 y 90 micrómetros. A continuación, se analizó la roca lista para la composición inicial mediante fluorescencia de rayos X (XRF).

Lixiviación

- 10 **[0248]** Como reactivo de lixiviación se utilizó ácido clorhídrico (HCl) de grado reactivo. Debido a su corrosividad, todo el material de construcción para el recipiente del reactor consistió en vidrio de borosilicato y teflón. Se conectó un condensador de reflujo a un enfriador de agua con recirculación configurado entre 15-20 °C para la recuperación de agua y ácido. La manta calefactora se conectó con un controlador de temperatura y la temperatura se midió en el reactor con un termopar de tipo J.
- 15 La lixiviación de la roca de suministro con Ca se llevó a cabo de la siguiente manera:
1. Las condiciones de lixiviación objetivo fueron 15-30 %p/p. de HCl, 10-30 %p/vol. de densidad de la pulpa (peso de los sólidos con respecto al volumen de la solución de lixiviación), de 6 a 24 horas, de 50 a 70 % vol. de llenado del recipiente del reactor. Las condiciones de lixiviación utilizadas para producir cenizas volantes y humo de sílice fueron 20 % p/p de HCl, densidad de la pulpa de 27 % (27 gm de roca de suministro por cada 100 mL de solución de lixiviación).
 2. Una vez definidos los parámetros de lixiviación, se calculó la cantidad necesaria de roca de suministro y se midió con precisión de 0,1 a 1 mg. También se determinaron los volúmenes necesarios de ácido madre pf y agua
 3. El reactivo de lixiviación se añadió al recipiente del reactor, con una agitación lenta de 100 a 150 rpm. Mientras se agitaba, la roca de suministro se añadió lentamente al reactor a través del puerto de suministro de sólidos.
 4. Se cerró el recipiente, se aumentó la agitación a entre 200 y 300 rpm para la reacción. El calentamiento se inició hasta un intervalo objetivo de temperatura de 100 a 120 °C. Una vez que la mezcla de reacción alcanzó la temperatura objetivo, se dejó que la reacción continuara durante el tiempo predeterminado. Para las cenizas volantes, la duración fue de 24 horas, tras lo cual se separaron los materiales. Para el humo de sílice, la lixiviación se realizó durante 24 horas en una primera etapa, se obtuvieron residuos y, a continuación, se realizó una nueva lixiviación con la misma concentración de ácido y densidad de pulpa durante 4 horas más. Al final de la reacción, se interrumpe el calentamiento y se deja enfriar la mezcla de reacción, también conocida como

pulpa, compuesta por la solución de lixiviación preñada (PLS) y los sólidos (residuos) hasta una temperatura de entre 60 y 70 grados.

Separación de sólidos/líquidos

[0249] La separación de sólidos/líquidos del producto se ilustra en la Figura 15 y se procedió de la siguiente manera:

1. Se colocó un tubo resistente a la corrosión conectado con un adaptador en el puerto de drenaje del recipiente de reacción en un extremo, y dentro de un recipiente de recolección resistente a la corrosión. Se dejó que la mezcla de reacción fluyera dentro del frasco de recolección que se llevó a filtración o centrifugación.

2. Centrifugación:

a. La pulpa de PLS se distribuyó por igual en frascos de centrífuga y se introdujo en el rotor de centrífuga.

b. La centrífuga se utilizó durante entre 5 y 10 minutos.

c. El sobrenadante se recolectó y se procesó para la recolección de datos sobre propiedades físicas (densidad, pH, vol, RmV), y después se enviaron alícuotas para el análisis químico).

3. Filtración

a. El conjunto de filtración consistía en un matraz de filtración, un embudo Buchner, papel de filtro de diversos grados (3, 4, 5, 50) y una bomba de vacío.

b. Se colocó el papel de filtro dentro del embudo Buchner, se humedeció y se encendió la bomba para confirmar un buen sellado.

c. Se añadió la pulpa al embudo y tuvo lugar la separación. Se recolectó la solución de lixiviación preñada filtrada, se procesó para la recolección de datos de propiedades físicas (densidad, pH, vol, RmV) y, a continuación, se enviaron alícuotas para el análisis químico).

4. Se volvió a formar una pulpa con la torta de filtración/el sedimento de centrifugación mediante la adición de agua hasta aproximadamente 25-50 % vol. de sólidos y, a continuación, se llevó a cabo otra etapa de filtración o centrifugación. El pH de la torta de filtración se supervisó de forma tal que el final de la filtración/centrifugación estuviera marcado por un pH de la torta de alrededor de 6-7.

5. La torta de filtración/el sedimento sólido se recolectó en una bandeja de secado y se registró el peso en húmedo.

[0250] Secado

[0251] El material residual recolectado de la etapa de separación S/L se colocó en una estufa de secado a 110 °C durante entre 24 y 48 horas antes del procesamiento de sólidos secos. Al final del proceso de secado, se recolectó el peso en seco de la torta y se calculó el contenido de humedad

conservado. Los sólidos se desaglomeraron mediante el uso de un mortero y un mazo.

[0252] Métodos analíticos

[0253] Preparación de las muestras

[0254] Fracciones líquidas

- 5 **[0255]** Tal como se muestra en la **Figura 15**, se recolectaron tres corrientes de la lixiviación: la PLS, el lavado y el residuo. Se analizaron alícuotas de la PLS y de las fracciones de lavado mediante espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES).

[0256] Fracciones sólidas

- 10 **[0257]** Tras la recolección, el residuo se sometió a un análisis de pérdida por ignición (LOI, por su sigla en inglés) de acuerdo con ASTM D7348. Una fracción de la muestra de residuo oxidado se sometió a una fusión de borato de litio mediante la cual se produjo una perla de vidrio que se analizó mediante fluorescencia de rayos X (XRF).

[0258] Producción de SCM

- 15 **[0259]** Las especificaciones para el humo de sílice y las cenizas volantes figuran en las tablas 1 y 2 de ASTM C1240 y C618 respectivamente. Para llegar a la especificación de SCM se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

[0260] 1. Se calibró un tamiz de ASTM de malla 325 de acuerdo con ASTM C430 mediante el uso de la norma de finura NIST 46h OPC

[0261] 2. Se realizaron triplicados de la prueba de finura con la muestra de residuos.

- 20 **[0262]** 3. En función de los resultados de finura, se determinaron los medios de molienda y la duración necesarios para alcanzar el tamaño de partícula requerido.

[0263] 4. Se obtuvo un tarro de molienda y se cargó con medios de molienda hasta llenar el 40-50 % del volumen. Los sólidos se añadieron hasta aproximadamente ½ pulgada por encima de la superficie del medio.

- 25 **[0264]** 5. El frasco que contenía los sólidos+medios se colocó en un molino de bolas y se trituró.

[0265] 6. Las etapas 2 y de comprobación se repitieron para la evaluación del tamaño.

[0266] 7. En caso necesario, se repitieron las etapas 2 a 6.

[0267] Evaluación del material cementicio complementario (SCM) de acuerdo con ASTM C618 «Standard

- 30 **[0268]** Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete».

[0269] Se evaluó una muestra de «cenizas volantes» para comprobar si se cumplían los requisitos físicos y de composición convencionales de ASTM C618.

[0270] PROPORCIONES DE LA MEZCLA Y RESULTADOS

[0271] Los resultados del análisis de la composición química de la muestra se proporcionan en la **Tabla 2** (ASTM\C618). Las proporciones y el flujo de la muestra de mortero de la evaluación se proporcionarán en la **Tabla 3**. El contenido de SCM fue del 20 % en peso de su mezcla con cemento de Pórtland (Referencia: ASTM C618 y ASTM C311). Los resultados de la evaluación de las «cenizas volantes» para los requisitos físicos convencionales se presentarán en la **Tabla 4** (ASTM C618).

Tabla 2: Resultados del análisis de la composición de la muestra de SCM (ASTM C618)

Composición química	Requisitos según ASTM C618, Clase F	Cenizas volantes de la muestra
SiO ₂ (%)		85,12
Al ₂ O ₃ (%)		6,75
Fe ₂ O ₃ (%)		0,41
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	50,0 min	92,3
CaO (%).	18,0 máx.	2,6
MgO (%)	--	0,00
Na ₂ O (%)	--	0,81
K ₂ O (%)	--	0,30
Na ₂ O _{eq} (Na ₂ O+ 0,658K ₂ O) (%)	--	1,00
SO ₃ (%)	5,0 máx.	0,0
Contenido de humedad (%)	3,0 máx.	1,5
Pérdida por ignición (%)	6,0 máx.	3,8

Tabla 3. Proporciones de mezcla de muestras de mortero fabricadas para determinar la necesidad de agua y el índice de actividad de resistencia (ASTM C618)

Materiales	Muestra de control	Muestra de prueba
Cemento de Pórtland (g)	500	400
SCM (g)	---	100
Arena convencional graduada (g)	1375	1375
Cantidad de agua (mL)	242	234

Flujo (%), ASTM C1437	102	105
-----------------------	-----	-----

-

Tabla 4. Resultados de la evaluación de propiedades físicas (ASTM C618)

Propiedades físicas	Requisitos según ASTM C618, Clase F	Cenizas volantes de la muestra
Finura (cantidad conservada cuando se pasó por tamiz húmedo en 45 μm [#325]) (%), ASTM C430	34 máx.	27
Índice de actividad de fuerza, con cemento de Pórtland, a los 7 días (% de control), ASTM C311	75 min. a los 7 o 28 días	82
Índice de actividad de fuerza, con cemento de Pórtland, a los 28 días (% de control), ASTM C311	75 min. a los 7 o 28 días	92
Necesidad de agua (% de control), ASTM C311	105 máx.	97
Solidez, expansión en autoclave o contracción (%) ASTM C311, C151	0,8 máx.	0,1
Densidad (g por cm cúbico), ASTM C188	--	2,32

- 5 **[0272]** Flujo (%), ASTM C1437 102 105SCM la muestra de «cenizas volantes» cumple con los requisitos físicos y de composición convencionales para cenizas volantes de «Clase F» según lo especificado por ASTM C618

[0273] Evaluación del humo de sílice según ASTM C1240 «Standard Specification for Silica

Fume Used in

[0274] Cementitious Mixtures».

[0275] Se evaluaron muestras de «humo de sílice» para determinar si cumplían con los requisitos físicos y de composición de ASTM C1240.

- 5 **[0276]** Los resultados del análisis de la composición química de la muestra se proporcionarán en la **Tabla 5** (ASTM C1240). Las proporciones y el flujo de las muestras de mortero de la evaluación se proporcionarán en la **Tabla 6** (ASTM C1240 y ASTM C311). Los resultados de las pruebas de «humo de sílice» para los requisitos físicos convencionales se presentarán en la **Tabla 7** (ASTM C1240).

10

Tabla 5. Resultados del análisis de composición de la muestra de humo de sílice (ASTM C1240)

Composición química	Requisitos según ASTM C1240	Muestra de humo de sílice
SiO ₂ (%)	85,0 min	88,9
Al ₂ O ₃ (%)	--	4,17
Fe ₂ O ₃ (%)	--	0,22
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	---	93,3
CaO (%).	---	1,37
MgO (%)	--	0,04
Na ₂ O (%)	--	0,66
K ₂ O (%)	--	0,30
Na ₂ O _{eq} (Na ₂ O+ 0,658K ₂ O) (%)	--	0,86
SO ₃ (%)	--	0,0
Contenido de humedad (%)	3,0 máx.	1,4
Pérdida por ignición (%)	6,0 máx.	4,3

Tabla 6. Proporciones de mezcla de muestras de mortero fabricadas para determinar el índice de actividad de resistencia puzolánica acelerada (ASTM C1240)

Materiales	Muestra de control	Muestra de prueba (CH21-269)
Cemento de Pórtland (g)	500	450
Humo de sílice (g)	---	50

Arena convencional graduada (g)	1375	1375
Cantidad de agua (mL)	242	242
Flujo (%), ASTM C1437	108	102
HRWR (g)	--	0,26

Tabla 7. Resultados de la evaluación de propiedades físicas (ASTM C1240)

Propiedades físicas	Requisitos según ASTM C1240	Muestra de humo de sílice
Sobredimensión (porcentaje conservado cuando se pasa en húmedo por un tamiz de 45 μm [#325]), (%), ASTM C1240 y ASTM C430	10 máx.	2
Índice de actividad de resistencia puzolánica acelerada, con cemento de Pórtland, a los 7 días (% de control), ASTM C1240 y ASTM C311	105 min.	114
Superficie específica (m ² /g), ASTM C1240 y ASTM C1069	15 min	72

[0277] La muestra de humo de sílice «Humo de sílice» cumple con los requisitos físicos y químicos convencionales especificados por ASTM C1240.

[0278] Este ejemplo demuestra que, a partir de materiales iniciales no calcáreos, en este caso rocas y/o minerales, se puede producir SCM de diferentes tipos que cumplan con las normas industriales, siempre y cuando el SCM cumpla con las normas industriales en cuanto a composición y función.

[0279] Tal como reconocerá la persona experta en la técnica a partir de la descripción detallada anterior y de las figuras y reivindicaciones, es posible realizar modificaciones y cambios en las modalidades de la invención sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se definirá en las reivindicaciones que siguen.