

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 341**

51 Int. Cl.:

C04B 7/43 (2006.01)

C04B 7/60 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.05.2016 PCT/IB2016/000672**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2016 WO16189374**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2016 E 16726149 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019 EP 3303245**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el tratamiento y el uso de polvos de derivación**

30 Prioridad:

28.05.2015 AT 3392015

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

24.02.2020

73 Titular/es:

HOLCIM TECHNOLOGY LTD (100.0%)

Zürcherstrasse 156

8645 Jona, CH

72 Inventor/es:

ZIHLMANN, SERGE LUKAS y

GROSS, FLORIAN CHRISTIAN

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 744 341 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para el tratamiento y el uso de polvos de derivación.

5 La invención se refiere a un procedimiento para el tratamiento y el uso de polvos de derivación procedentes del proceso de fabricación de cemento que comprende las etapas de poner en contacto el polvo de derivación con una fase acuosa y mezclar ambos con el fin de obtener una suspensión homogénea, siendo los componentes solubles del polvo de derivación disueltos en la fase acuosa (etapa a), y de realizar una separación sólido-líquido, en particular una filtración al vacío o una filtración en filtro-prensa, para separar los sólidos contenidos en la suspensión, permaneciendo una salmuera (etapa b).

La invención se refiere además a un dispositivo para llevar a cabo dicho procedimiento.

15 Un procedimiento y un dispositivo del tipo mencionado anteriormente se conocen por el documento WO 2012/142638 A1.

Los componentes principales de polvos de derivación son CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y MgO , así como impurezas condensadas tales como K_2O , Na_2O , SO_3 y Cl . En la fabricación de cemento, los gases de escape calientes del horno de calcinación se utilizan para precalentar la harina cruda. Como consecuencia del enfriamiento, los componentes vaporosos contenidos en el gas de escape, tales como K_2O , Na_2O , SO_3 y Cl , condensan y se recirculan con la harina cruda de nuevo al horno de calcinación. De esta forma, se produce en la fabricación de cemento una circulación interna de las sustancias que se evaporan en el horno de calcinación y condensan del gas de escape durante el precalentamiento de la harina cruda. Con la harina cruda o los combustibles se introducen constantemente nuevos componentes inevitables, de forma que las circulaciones descritas se enriquecen cada vez más si no retira de forma constante una parte de los gases de escape calientes del horno de calcinación y, de esta forma, se eliminan proporcionalmente las impurezas evaporadas procedentes del proceso de fabricación. Esta corriente parcial de gas se enfría y se desempolva, y este polvo se denomina a continuación polvo de derivación de gas de horno de cemento, abreviado polvo de derivación, condensando los componentes inevitables sobre los granos de polvo y separándose los mismos con el polvo del gas de escape. El polvo de derivación producido a este respecto se puede utilizar dependiendo de la composición y de la calidad de cemento deseada como aditivo de molienda de cemento.

Con el uso de combustibles alternativos o mediante el uso de determinadas materias primas en el proceso de fabricación de cemento y la introducción asociada de componentes inevitables adicionales se producen cantidades crecientes de polvos de derivación que no se pueden utilizar completamente sin un procesamiento costoso y, por lo tanto, se depositan parcialmente en un vertedero por parte de muchos fabricantes de cemento, lo que, no obstante, está asociado con una carga significativa para el medio ambiente. La deposición en el vertedero también es desventajosa, ya que viene acompañada correspondientemente de grandes pérdidas de componentes que son útiles en la fabricación de cemento. Generalmente, no se produce un uso económicamente razonable de los productos en la industria del cemento debido a los contenidos excesivamente altos de álcalis, cloruro, azufre o metales pesados.

En el caso del objeto del documento WO 2012/142638 A1, el polvo de derivación se mezcla con una fase acuosa, siendo los componentes hidrosolubles del polvo de derivación disueltos en la fase acuosa y separándose los sólidos contenidos en la suspensión mediante una separación sólido-líquido, permaneciendo una salmuera. La salmuera se trata posteriormente en varias etapas para separar los metales pesados presentes en la salmuera y precipitar el calcio. La salmuera así tratada se somete finalmente a cristalización fraccionada para recuperar predominantemente KCl y NaCl . Una desventaja del procedimiento según el documento WO 2012/142638 A1, no obstante, es que el tratamiento de la salmuera comprende una serie de etapas que involucran el uso de productos químicos peligrosos para la salud y difíciles de manipular, tales como, por ejemplo, Na_2S como precipitante para separar metales pesados por medio de precipitación de sulfuro, carbonatos alcalinos (Na_2CO_3 , K_2CO_3) como precipitante para precipitar CaCO_3 , H_2O_2 para la eliminación de aniones sulfuro (S^{2-}) y HCl para reducir el pH y destruir un exceso de H_2O_2 .

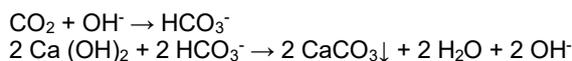
55 Por lo tanto, el objetivo consiste en mejorar un procedimiento del tipo mencionado anteriormente de forma que se simplifique el tratamiento de la salmuera, se reduzcan los costes y simultáneamente se pueda lograr un alto grado de separación de metales pesados.

60 Para resolver este problema, la invención consiste esencialmente en un procedimiento del tipo mencionado anteriormente en el que una cantidad parcial de los metales pesados presentes en la salmuera y opcionalmente Ca se precipitan y el precipitado se separa de la salmuera (etapa c) y en el que la salmuera se somete a electrocoagulación, separándose un floculado que contiene los metales pesados remanentes en la salmuera (etapa d).

65 La separación de los metales pesados se realiza, por lo tanto, en dos etapas, precipitando una primera parte de los metales pesados en la etapa c) y separándose la parte restante de los metales pesados en la etapa d). En

particular, esto permite en general una reducción del contenido de metales pesados, en particular del contenido de Cr, Pb, Cd y Sb, a menos de 0,005 mg/l. En la primera etapa, los metales pesados, en particular una gran parte del plomo contenido, especialmente en forma de sus hidróxidos o carbonatos, se puede separar. En la segunda etapa, es posible separar, en particular, el cromo (III, VI).

La precipitación según la etapa c) comprende preferentemente la adición de un precipitante, en particular CO₂ o carbonatos, en particular carbonatos alcalinos tales como, por ejemplo, Na₂CO₃ o K₂CO₃. A este respecto se prefiere particularmente el uso de CO₂, especialmente si se utiliza gas residual que contiene CO₂ procedente del horno de calcinación de la fabricación de clínker. La adición de CO₂ conduce, a este respecto, a una reducción del valor del pH de la salmuera, lo que favorece la precipitación de metales pesados. La adición de CO₂ se realiza preferentemente, a este respecto, en cantidades tales que el valor del pH de la salmuera se reduzca de un valor inicial de 12-13 a 8,5-10,5. La adición de CO₂ también provoca la eliminación de la cal hidratada disuelta en la salmuera mediante precipitación de carbonato. El modo más sencillo es la inyección directa de gas rico en CO₂ en la salmuera. Las ecuaciones de reacción son las siguientes:



La reducción del valor del pH también se puede realizar mediante la adición de un ácido, por ejemplo HCl, H₂SO₄ o similar, causando la reducción del pH la precipitación de los metales pesados.

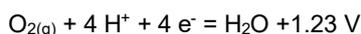
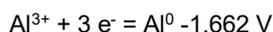
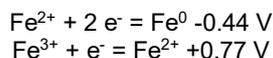
Si se desea adicionalmente en este caso la precipitación de Ca, pueden añadirse como precipitantes, en particular, carbonatos, sobre todo carbonatos de metales alcalinos, tales como, por ejemplo, Na₂CO₃ o K₂CO₃. La adición de Na₂CO₃ o K₂CO₃ es particularmente ventajosa si la salmuera purificada se somete finalmente a cristalización, mediante la que se pueden recuperar NaCl y KCl.

La segunda etapa de separación de metales pesados se realiza por medio de electrocoagulación. La electrocoagulación es un procedimiento sencillo y eficaz en el que el floculante se forma *in situ* mediante una oxidación inducida eléctricamente de un ánodo. El ánodo en forma de placa está diseñado, a este respecto, preferentemente como electrodo de Fe y/o Al. Los ánodos se disponen frente a cátodos en secuencia alterna, produciendo un apilamiento de placas. Todos los cátodos o ánodos están unidos de forma eléctricamente conductiva. El contra-cátodo en forma de placa puede estar fabricado de cualquier material conductor, y preferentemente está constituido por el mismo material que el ánodo, por lo que se puede realizar una conmutación de polos, que limpia las placas y, debido al desgaste uniforme del par de electrodo, prolonga la vida útil de las placas hasta su recambio. La distancia entre las placas se selecciona dependiendo de la conductividad específica de la salmuera.

Mediante el voltaje continuo aplicado en el intervalo comprendido entre 2 y 10 V, preferentemente entre 2 y 5 V, y con densidades de corriente comprendidas entre 400 y 800 A/m², tienen lugar las reacciones siguientes en el ánodo/cátodo y en la solución, lo que conduce a la reducción de la carga de metales pesados:

Ánodo

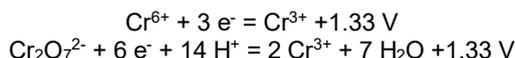
Debido al potencial forzado de las reacciones de oxidación anódica, en particular el ánodo se disuelve con formación de iones Fe²⁺, Fe³⁺ o Al³⁺. Simultáneamente, se libera oxígeno gaseoso a un potencial suficiente. Se producen las semirreacciones siguientes, representadas en la dirección de reducción:



Cátodo



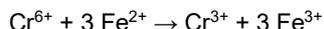
Además, tiene lugar una reducción directa de metales pesados, por ejemplo, la reducción de cromo hexavalente Cr (VI) y dicromato:



En solución

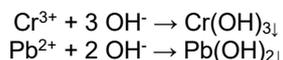
En solución, entre las placas y/o en un tanque de floculación posconectado, tienen lugar reacciones secundarias con los iones formados. Reducción de Cr (VI) mediante la reacción rédox:

5



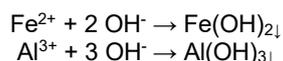
Los metales pesados, por ejemplo, Cr y Pb, se precipitan directamente por hidróxidos:

10



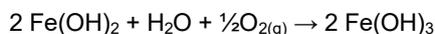
y/o se adhieren a los copos de hidróxido de Fe/Al:

15



El oxígeno formado en el ánodo conduce posteriormente a oxidaciones:

20



Finalmente, la eliminación de metales pesados se basa en diferentes mecanismos, especialmente en la generación *in situ* de coagulantes muy activos (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}), además de las reacciones de reducción/oxidación en los electrodos, así como los efectos de campo y polarización. Como reacción suma, el metal se oxida en el ánodo y la reducción libera hidrógeno en el cátodo. A través de la producción simultánea de iones OH^- en el cátodo aumenta el valor del pH.

25

La electrocoagulación presenta particularmente un bajo consumo energético debido al alto contenido de sal de la salmuera que se va a tratar. El contenido de sal aumenta la conductividad eléctrica de la salmuera, de modo que se puede reducir el consumo de energía y, por lo tanto, los costes de operación.

30

Con respecto a la separación de las sustancias precipitadas en la etapa c) o d) u obtenidas por electrocoagulación, se prefieren los procedimientos siguientes. La separación del precipitado en la etapa c) se realiza ventajosamente por medio de sedimentación por gravedad. La separación del floculado en la etapa d) se lleva a cabo preferentemente mediante filtración, en particular en un filtro-prensa, o mediante centrifugación.

35

La separación sólido-líquido según la etapa b) se lleva a cabo preferentemente mediante un procedimiento de separación continuo, en el que la suspensión y una fase acuosa en un aparato de separación continua, en particular un filtro de banda o un filtro de banda de vacío, se conducen en contracorriente y se ponen en contacto. A este respecto, después del paso a través de una primera sección del dispositivo de separación continuo, se puede retirar una salmuera débil y, después del paso a través de una sección adicional del dispositivo de separación continuo, se puede retirar una salmuera fuerte.

40

Preferentemente, además puede estar previsto que la salmuera débil o el agua que permanece después de la segunda y/o cada etapa adicional de separación o la salmuera débil retirada del dispositivo de separación continuo se utilice para suspender el polvo de derivación o la torta de filtro resultante en la etapa a) y/o para lavar la torta del filtro resultante de la primera o la segunda etapa de separación.

45

Una reutilización preferida de los componentes aprovechables de los polvos de derivación se logra recirculando los sólidos separados en la etapa c) y/o la etapa d) al proceso de fabricación de cemento después de un secado opcionalmente requerido, en particular como aditivo de molienda de cemento o como componente de harina cruda.

50

Finalmente, puede estar previsto que la salmuera tratada obtenida después de la etapa d) se someta a una cristalización fraccionada. A este respecto, el calor residual del proceso de fabricación de cemento, en particular el procedente del precalentador o del enfriador de clínker, se utiliza preferentemente en la cristalización fraccionada para evaporar la salmuera tratada. El calor residual del proceso de fabricación de cemento, en particular el procedente del precalentador o del enfriador de clínker, también se puede utilizar opcionalmente para secar la sal obtenida en la cristalización fraccionada.

55

En particular, es ventajoso a este respecto que el calor residual del proceso de fabricación de cemento, en particular el procedente del precalentador o del enfriador de cemento, se alimente a una generación de vapor y el vapor se utilice para calentar y evaporar la salmuera tratada en la cristalización fraccionada, recuperándose el agua evaporada de la salmuera al menos parcialmente para una evaporación adicional de la salmuera. Como transferencia de calor, se puede utilizar adicionalmente un aceite portador de calor.

60

65

La reutilización del agua de proceso se logra preferentemente utilizándose el agua de la salmuera evaporada en

la cristalización fraccionada al menos parcialmente para suspender los polvos de derivación y/o para suspender o lavar los sólidos separados en las distintas etapas de separación.

5 En resumen, el procedimiento según la invención tiene las ventajas siguientes. Los costes de operación se reducen, ya que se puede prescindir del uso de productos químicos caros. El tratamiento de la salmuera requiere una pequeña cantidad de etapas de tratamiento, de modo que el proceso puede automatizarse de forma sencilla. Debido a la eliminación del uso de productos químicos puede aumentarse la seguridad de los trabajadores y la protección de la salud frente a los riesgos de seguridad y para la salud debidos al trabajo. La emisión de CO₂ del proceso de producción de clínker se puede reducir porque el CO₂ procedente del horno de calcinación se reutiliza como precipitante.

10 Según otro aspecto de la invención, está previsto un dispositivo para llevar a cabo el procedimiento según la invención, que comprende un dispositivo de mezclado para poner en contacto el polvo de derivación con una fase acuosa, un primer dispositivo de separación para llevar a cabo una separación sólido-líquido, en particular una filtración al vacío o una filtración en filtro-prensa, y un dispositivo de tratamiento para tratar la salmuera descargada del dispositivo de separación, en el que el dispositivo de tratamiento comprende un dispositivo de electrocoagulación.

15 Un desarrollo preferido prevé que esté conectado aguas abajo del dispositivo de electrocoagulación un segundo dispositivo de separación, en particular una centrífuga o un dispositivo de filtración, para separar el floculado obtenido en el dispositivo de electrocoagulación.

20 Ventajosamente, el dispositivo de tratamiento comprende además un baño dispuesto aguas arriba del dispositivo de electrocoagulación con un dispositivo de mezclado para precipitar calcio y una cantidad parcial de los metales pesados presentes en la salmuera.

25 La invención se explicará con más detalle con referencia a una forma de realización ilustrada esquemáticamente en el dibujo.

30 En la figura 1 se designa un proceso de fabricación de cemento esquemáticamente con el número 1 y este presenta un horno tubular rotatorio 2, así como un sistema de precalcinación o de precalentamiento 3 conectado al extremo de carga del horno tubular rotatorio 2. En la ubicación designada esquemáticamente con el número 4, los polvos de derivación se extraen del proceso de producción de cemento y se almacenan en un silo 5. En otro silo 6 se almacenan los polvos extraídos opcionalmente en otra ubicación del proceso de fabricación de cemento. Según la etapa a) del procedimiento según la invención, los polvos procedentes del silo 5 o 6 se alimentan a un dispositivo de mezclado 7 en el que los polvos se ponen en contacto y se mezclan de forma intensa con una fase acuosa y/o salmuera alcalina débil, que se almacena en un tanque 8 y 11 o 13, con el fin de obtener una suspensión homogénea. Opcionalmente, se puede añadir ácido clorhídrico al proceso de disolución que tiene lugar en el dispositivo de mezclado 7 para equiparar el contenido de álcalis y haluros. Con el número 9 se designa esquemáticamente una etapa de extracción en la que los componentes solubles de la suspensión se eliminan por lavado de los componentes sólidos y se disuelven en la fase acuosa. La suspensión se alimenta a continuación a un filtro de banda de vacío 10, en el que se lleva a cabo la etapa b) del procedimiento según la invención. En el filtro de banda de vacío 10, la suspensión y el agua de proceso procedente de 11 se conducen en contracorriente entre sí. Después de una primera sección del filtro de banda de vacío 10 en la dirección de transporte de la suspensión, se retira una salmuera fuerte 12. Después de una segunda sección del filtro de banda de vacío 10 en la dirección de transporte de la suspensión, se retira una salmuera débil 13 y permanece una torta de filtro 14. En principio, la etapa de lavado se puede repetir tantas veces como se desee. La torta de filtro 14, opcionalmente, se seca posteriormente y puede recircularse al proceso de fabricación de cemento 1 como un componente de harina cruda o como aditivo de molienda de cemento. La salmuera alcalina débil 13 se pueden alimentar al dispositivo de mezclado 7.

35 La salmuera alcalina fuerte 12 se somete a una precipitación 15 de calcio y metales pesados según la etapa c) del procedimiento según la invención, inyectando gas que contiene CO₂ 16 y realizando un mezclado por medio de un dispositivo de mezclado. Con esto se reduce el valor del pH de la salmuera a un valor de 8,5-10,5. La salmuera se transfiere, para realizar una sedimentación por gravedad, opcionalmente después de la adición de un floculante 17, a un tanque de sedimentación 18, en el que se separan CaCO₃ e hidróxidos de metales pesados 19. La salmuera parcialmente purificada de esta forma se alimenta a un dispositivo de electrocoagulación 20 en el que se coagulan los metales pesados remanentes, en particular el cromo, mediante el aporte de energía eléctrica 21 a través de los ánodos de Fe y/o Al 22. La separación de las partículas coaguladas se realiza en un dispositivo de separación 23, en particular un dispositivo de filtración o una centrífuga, en el que los constituyentes separados 24 pueden alimentarse al cemento como corrector de Fe y/o Al.

40 El resultado es una salmuera 25 tratada y purificada, que opcionalmente se somete a una cristalización fraccionada 26. Para el calentamiento y la evaporación de la salmuera se utiliza vapor 27, que se genera por medio del calor residual 28 procedente del gas de escape del precalentador o del aire de escape del enfriador de clínker. Para generar el vapor de agua 27, se utiliza agua dulce 29, liberada de sales disueltas, en particular de sales de calcio,

por ósmosis inversa. El agua condensada caliente procedente de la cristalización fraccionada 26 puede, como se indica mediante líneas discontinuas, reutilizarse también como agua de proceso 11.

5 A partir de la cristalización fraccionada 26 se obtienen diversas sales 30, que son predominantemente KCl, NaCl y sus mezclas. El KCl puede utilizarse de forma particularmente ventajosa en la industria de fertilizantes. Las mezclas de NaCl y KCl/NaCl pueden utilizarse, por ejemplo, como anticongelante, en particular en superficies reservadas al tráfico o en la industria del aluminio. Opcionalmente, las sales obtenidas en la cristalización 26 se someten a un secado de sal, no mostrado, de forma que se obtengan sales alcalinas secas 30.

10 La invención se explicará adicionalmente con referencia a las formas de realización descritas a continuación.

Ejemplo 1

15 Se realizó en primer lugar la preparación de salmuera en un filtro de banda de vacío según las etapas (a) y (b), presentando la salmuera bruta así obtenida un valor del pH de 12,32 y una conductividad de 126 mS/cm. La salmuera bruta se neutralizó mediante inyección de CO₂ a un valor del pH de 8,45, produciéndose la sedimentación de un precipitado blanco que se eliminó después de 12 horas de sedimentación, obteniéndose una salmuera neutralizada. La salmuera neutralizada se sometió a electrocoagulación a través de placas de Fe a una tensión eléctrica de 6,0 V. El floculado se filtró en un filtro-prensa, obteniéndose una salmuera pura. El contenido de Pb y Cr pudo reducirse mediante el procedimiento descrito tal como se indica a continuación.

Concentración mg/l	Pb	Cr
Salmuera bruta	ND	ND
Salmuera neutralizada	< 0,005	0,129
Salmuera pura	< 0,005	< 0,005

Ejemplo 2

25 Se realizó en primer lugar la preparación de salmuera en un filtro de banda de vacío según las etapas (a) y (b), presentando la salmuera bruta así obtenida un valor del pH de 12,07 y una conductividad de 136 mS/cm. La salmuera bruta se neutralizó mediante inyección de CO₂ a un valor del pH de 8,13, produciéndose la sedimentación de un precipitado blanco que se eliminó después de 5 horas de sedimentación, obteniéndose una salmuera neutralizada. La salmuera neutralizada se sometió a electrocoagulación a través de placas de Fe y Al a una tensión eléctrica de 4,0 V. El floculado se filtró en un filtro-prensa, obteniéndose una salmuera pura. El contenido de metales pesados pudo reducirse mediante el procedimiento descrito tal como se indica a continuación.

Concentración mg/l	Pb	Cr	Sb	Cd	Zn	Cu
Salmuera bruta	32,2	1,11	ND	ND	ND	ND
Salmuera neutralizada	1,01	1,08	2,58	0,0154	0,0374	0,0368
Salmuera pura	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,0005	0,0111	0,0154

Ejemplo 3

35 Se realizó en primer lugar la preparación de salmuera en un filtro de banda de vacío según las etapas (a) y (b), presentando la salmuera bruta así obtenida un valor del pH de 11,01 y una conductividad de 102 mS/cm. La salmuera bruta se neutralizó mediante inyección de CO₂ a un valor del pH de 8,29, produciéndose la sedimentación de un precipitado blanco que se eliminó después de 3 horas de sedimentación, obteniéndose una salmuera neutralizada. La salmuera neutralizada se sometió a electrocoagulación a través de placas de Fe y Al a una tensión eléctrica de 3,8 V. El floculado se filtró en un filtro-prensa, obteniéndose una salmuera pura. El contenido de Pb y Cr pudo reducirse mediante el procedimiento descrito tal como se indica a continuación.

Concentración mg/l	Pb	Cr
Salmuera bruta	ND	ND
Salmuera neutralizada	1,107	ND
Salmuera pura	0,101	< 0,005

Ejemplo 4

45 Se realizó en primer lugar la preparación de salmuera en un filtro de banda de vacío según las etapas (a) y (b), presentando la salmuera bruta así obtenida un valor del pH de 12,24 y una conductividad de 198 mS/cm. La salmuera bruta se neutralizó mediante inyección de CO₂ a un valor del pH de 8,54, produciéndose la sedimentación de un precipitado blanco que se eliminó después de 3 horas de sedimentación, obteniéndose una salmuera neutralizada. La salmuera neutralizada se sometió a electrocoagulación a través de placas de Fe y Al a una tensión eléctrica de 4,0 V. El floculado se filtró en un filtro-prensa, obteniéndose una salmuera pura. El contenido de Pb y Cr pudo reducirse mediante el procedimiento descrito tal como se indica a continuación.

ES 2 744 341 T3

Concentración mg/l	Pb	Cr
Salmuera bruta	ND	ND
Salmuera neutralizada	3,07	0,02
Salmuera pura	0,719	< 0,005

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el tratamiento y la utilización de polvos de derivación procedentes del proceso de fabricación de cemento, que comprende las etapas siguientes:
 - a) poner en contacto el polvo de derivación con una fase acuosa y mezclar los mismos, con el fin de obtener una suspensión homogénea, siendo los componentes hidrosolubles del polvo de derivación disueltos en la fase acuosa,
 - b) realizar una separación sólido/líquido, en particular una filtración al vacío o una filtración en filtro-prensa, con el fin de separar los sólidos contenidos en la suspensión, permaneciendo una salmuera,
 - c) precipitar una cantidad parcial de los metales pesados presentes en la salmuera, y opcionalmente Ca, y separar el precipitado de la salmuera,
 - d) someter la salmuera a una electrocoagulación, en la que se separa un floculado que contiene los metales pesados que permanecen en la salmuera.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la precipitación según la etapa c) comprende la adición de un precipitante, en particular CO₂ o carbonatos, en particular carbonatos alcalinos tales como, por ejemplo, Na₂CO₃ o K₂CO₃, para la precipitación de sales de calcio, en particular CaCO₃.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que se extrae gas de escape que contiene CO₂ del horno de calcinación y se utiliza como precipitante en la etapa c).
4. Procedimiento según la reivindicación 1, 2 o 3, caracterizado por que la precipitación según la etapa c) comprende la reducción del valor del pH de la salmuera.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que la reducción del valor del pH se logra mediante la adición de un ácido, tal como, por ejemplo, HCl, H₂SO₄ o similar.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la salmuera tratada obtenida según la etapa d) se somete a una cristalización fraccionada.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la separación del precipitado en la etapa c) se realiza por medio de sedimentación por gravedad.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la separación del floculado de la etapa d) se efectúa por medio de filtración, en particular en un filtro-prensa, o por centrifugación.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que la separación sólido-líquido según la etapa b) se lleva a cabo mediante un procedimiento de separación continuo, en el que la suspensión y una fase acuosa son conducidos a contracorriente y se ponen en contacto en un dispositivo de separación que funciona de manera continua, en particular un filtro de banda o un filtro de banda de vacío.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que los sólidos separados en la etapa c) y/o la etapa d), después de un secado opcionalmente requerido, son recirculados al proceso de fabricación de cemento, en particular como aditivo de molienda de cemento o como componente de harina cruda.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que la sal de calcio precipitada en la etapa c) se añade a la suspensión en la etapa a) y se separa como sólido en la etapa b).
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que la electrocoagulación se realiza por medio de un ánodo de Fe y/o Al.
13. Dispositivo para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, que comprende un dispositivo de mezclado diseñado de forma separada al dispositivo de electrocoagulación, para poner en contacto el polvo de derivación con una fase acuosa, un primer dispositivo de separación para realizar una separación sólido-líquido, en particular una filtración al vacío o una filtración en un filtro-prensa, en el que el dispositivo de separación está dispuesto aguas arriba del dispositivo de electrocoagulación, y un dispositivo de tratamiento para tratar la salmuera descargada desde el dispositivo de separación, en el que dicho dispositivo de tratamiento comprende un dispositivo de electrocoagulación.
14. Dispositivo según la reivindicación 13, caracterizado por que un segundo dispositivo de separación, en particular una centrífuga o un dispositivo de filtración, está dispuesto aguas abajo del dispositivo de electrocoagulación para separar el floculado obtenido en el dispositivo de electrocoagulación.

- 5 15. Dispositivo según la reivindicación 13 o 14, caracterizado por que el dispositivo de tratamiento comprende asimismo un baño dispuesto aguas arriba del dispositivo de electrocoagulación con un dispositivo de mezclado para precipitar calcio y una cantidad parcial de los metales pesados presentes en la salmuera.
16. Dispositivo según la reivindicación 13, 14 o 15, caracterizado por que el dispositivo de electrocoagulación presenta un ánodo de Fe y/o Al.
- 10 17. Dispositivo según una de las reivindicaciones 13 a 16, caracterizado por que un dispositivo está dispuesto aguas abajo de un dispositivo de tratamiento para llevar a cabo una cristalización fraccionada.

