

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 539 853**

51 Int. Cl.:

C04B 7/36 (2006.01)

B01D 53/62 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.08.2009 E 09777629 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2015 EP 2461892**

54 Título: **Método para capturar CO₂ producido por plantas de cemento usando el ciclo de calcio**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.07.2015

73 Titular/es:

**CEMEX RESEARCH GROUP AG (100.0%)
Römerstrasse 13
2555 Brugg bei Biel, CH**

72 Inventor/es:

**TREVINO VILLAREAL, LUIS y
MARTÍNEZ VERA, ENRIQUE RAMÓN**

74 Agente/Representante:

VIGAND, Philippe

ES 2 539 853 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método para capturar CO₂ producido por plantas de cemento usando el ciclo de calcio.

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

A. CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a métodos para capturar el CO₂ producido por plantas de producción de cemento y, más particularmente, a un método para capturar CO₂ producido por plantas de producción de cemento integrando el proceso conocido como ciclo de calcio a la planta de cemento.

B. DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA RELACIONADA

La contaminación atmosférica es uno de los problemas más graves provocados por la industria general y tiene un gran impacto en el ecosistema de nuestro planeta. Dicho problema está causado normalmente por las emisiones de CO₂, que es una causa bien conocida de calentamiento global.

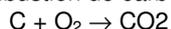
Específicamente, las plantas de producción de cemento liberan enormes cantidades de CO₂ a la atmósfera como resultado de la combustión de combustibles usados para calentar los hornos donde la transformación de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro, que se denomina generalmente "harina de crudo", en un material cementoso denominado escoria o clinker, que se transforma posteriormente en cemento.

Para realizar dicha transformación, deben realizarse las siguientes etapas: precalentar la harina de crudo; calcinar la harina de crudo en la que el CO₂ se retira de la piedra caliza y, finalmente, enviar el material a un proceso de clinkerización para obtener el clinker.

Cada etapa produce CO₂ intensamente de acuerdo con lo siguiente: en la primera y tercera etapas, el CO₂ se produce por la combustión de combustibles fósiles y/o combustibles alternativos, tales como neumáticos, desechos industriales, virutas de madera, etc. usados para generar la harina, y en la segunda etapa, el CO₂ se produce por la calcinación de piedra caliza.

Las reacciones químicas que producen CO₂ que se realizan en el interior de un horno de cemento son las siguientes:

Combustión de carbono contenida en los combustibles:



Calcinado de carbonato de calcio contenido en la piedra caliza:



En un horno de cemento, aproximadamente, el 65% del CO₂ se produce por procesos de calcinación; por lo tanto, se sabe que los hornos de cemento son productores muy intensos de CO₂.

En vista de los efectos devastadores provocados por la contaminación atmosférica en nuestro planeta, siendo el más evidente el calentamiento global, es necesario encontrar métodos para capturar y con el tiempo secuestrar el CO₂. Dicha operación también se denomina secuestro de carbono, en el que el CO₂ se captura antes de entrar en contacto con la atmósfera.

El uso de procesos basados en el ciclo de calcio se ha descrito, por ejemplo, por los documentos US5520894, US2004129181A1, US2006093540A1 o WO2006113673. Todos estos documentos desvelan el aspecto detallado de la técnica de captura de CO₂ en relación con la limpieza de gases de escape convencionales.

La publicación A. Bosoaga y col. CO₂ Capture Technologies for Cement Industry, Energy Procedia 1, 2009, 133-140 y la publicación T. Weimer y col. Lime enhances gasification of solid fuels: examination of a process for simultaneous production and CO₂ capture Fuel 87, 2008, 1678-1686. Sin embargo, ninguna de ellas desvela el uso de la harina de crudo y/o el polvo del horno de cemento (CKD).

En vista de las necesidades a las que se ha hecho referencia anteriormente, el Solicitante desarrolló un método para capturar CO₂ que comprende la integración del proceso conocido como ciclo de calcio a una planta de cemento con

objeto de capturar totalmente el CO₂ producido por dicha planta de cemento y aumentar simultáneamente la productividad de la planta de cemento. La integración a la que se ha hecho referencia anteriormente se realiza usando las materias primas y subproductos de la planta de cemento en la planta del ciclo de calcio y usando los subproductos de la planta del ciclo de calcio y energía residual en la planta de cemento.

5

Las ventajas de la sinergia entre el proceso del ciclo de calcio y una planta de producción de cemento son muy importantes, ya que, en primer lugar, se consigue la captura de CO₂ producido por la planta de cemento, en segundo lugar, las materias primas de la planta de cemento pueden usarse como constituyente en el proceso del ciclo de calcio, en tercero, el óxido de calcio de descarga (corriente purgada) del equipo de captura de CO₂ puede usar una materia prima para la producción de cemento, presentando las ventajas de que ya no liberarán CO₂ durante el proceso de fabricación de cemento, y en cuarto lugar, la energía producida por las reacciones exotérmicas del proceso del ciclo de calcio pueden usarse para producir vapor para mover un generador eléctrico para producir electricidad que puede usarse para cubrir las necesidades de la planta de producción de cemento.

10

15 RESUMEN DE LA INVENCION

Por lo tanto, un objeto principal de la presente invención es proporcionar un método para capturar CO₂ producido por plantas de producción de cemento, que comprende la integración del proceso conocido como ciclo de calcio para la planta de cemento.

20

Es otro objeto principal de la presente invención proporcionar un método de la naturaleza a la que se ha hecho referencia anteriormente en el que las materias primas y subproductos de la planta de cemento se usan por el ciclo de calcio y viceversa, aumentando de esta manera la productividad de la planta de cemento.

25

Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar un método de la naturaleza a la que se ha hecho referencia anteriormente en el que la energía producida por las reacciones exotérmicas del proceso del ciclo de calcio pueden usarse para producir vapor para mover un generador eléctrico para producir electricidad que puede usarse para cubrir las necesidades de la planta de producción de cemento.

30

Estos y otros objetos y ventajas del método para capturar CO₂ producido por plantas de cemento usando el ciclo de calcio de la presente invención se harán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción detallada de las modalidades de la invención que se harán con referencia a las figuras adjuntas.

BREVE DESCRIPCION DEL DIBUJO

35

La figura 1 es un esquema de una planta de cemento que trabaja de acuerdo con una primera realización del método de la presente invención.

La figura 2 es un esquema de una planta de cemento que trabaja de acuerdo con una segunda realización del método de la presente invención.

40

La figura 3 es un esquema de una planta de cemento que trabaja de acuerdo con una tercera realización del método de la presente invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

45

Ahora se describirá el método para capturar CO₂ producido por los hornos de una planta de producción de cemento que usa el ciclo de calcio de la presente invención, haciendo referencia a una planta de producción de cemento común y a su método de producción común, al proceso conocido en el estado de la técnica como ciclo de calcio y a las figuras adjuntas.

50 Proceso convencional para la producción de cemento

De acuerdo con la invención, el método para capturar CO₂ producido por plantas de cemento usando el método del ciclo de calcio, en el que el cemento se produce por la planta de cemento por el siguiente método: moler las materias primas que comprenden piedra caliza, arcilla y mineral de hierro; homogeneizar las materias primas con el fin de producir una harina de crudo; precalentar la harina de crudo en la sección del precalentador de un horno de cemento para producir una harina de crudo precalentada; calcinar la harina de crudo precalentada en la sección de calcinación del horno de cemento para producir una harina de crudo calcinada; suministrar la harina de crudo calcinada en un horno giratorio con el fin de producir un clinker; enfriar el clinker y suministrarlo a un molino para mezclar el clinker con yeso y producir cemento, en el que la sección del calcinador del horno de cemento y el horno

55

- giratorio producen gases de combustión que se enfrían y tienen un contenido de entre un 15 al 30% de CO₂ y harina de crudo sin reaccionar que contiene CaCO₃ que se filtra del gas; y en el que el método del ciclo de calcio comprende: poner en contacto dichos gases de combustión que contienen CO₂ con una corriente sólida que tiene un alto contenido de CaO en el interior de un primer reactor de lecho fluidizado con el fin de producir una reacción exotérmica entre el CO₂ y el CaO para producir una mezcla de sólido-gas comprendida por una corriente CaCO₃ y una corriente gaseosa que tiene un contenido de CO₂ inferior; suministrar dicha corriente de sólido-gas a un ciclón para separar los sólidos de la corriente gaseosa y obtener sólidos de CaCO₃ y un gaseoso caliente que tiene un contenido de CO₂ inferior; suministrar los sólidos de CaCO₃ a un segundo reactor de lecho fluidizado al que se proporciona calor por medio de una reacción de combustión, con el fin de descarboxilar el CaCO₃ y producir una mezcla de sólido-gas comprendida por una corriente de CaO sólido y una corriente de gas comprendida principalmente por CO₂ caliente procedente de la corriente gaseosa que sale de la planta de cemento y de la reacción de combustión que proporciona calor al segundo lecho fluidizado; suministrar la corriente de CaO sólido y la corriente de CO₂ caliente a un segundo ciclón con el fin de separar los sólidos del CO₂ caliente y producir una corriente de CO₂ caliente separada de una corriente de CaO sólido; y reciclar el CaO al primer reactor de lecho fluidizado, en el que el método de la presente invención comprende: suministrar los gases de combustión producidos por la sección de calcinador y por el horno giratorio de la planta de producción de cemento al primer reactor de lecho fluidizado del método del ciclo de calcio; suministrar la corriente de CaO sólido separada por el segundo ciclón al primer reactor de lecho fluidizado; purgar una cantidad del CaO separado por el segundo ciclón cuando la capacidad del CaO para reaccionar con el CO₂ cae, y suministrarlo directamente al horno giratorio de la planta de cemento; y constituir CaO fresco para el segundo reactor de lecho fluidizado del método del ciclo de calcio y en el que la constitución de CaO fresco para el segundo reactor de lecho fluidizado comprende una mezcla obtenida por cualquier combinación de piedra caliza, harina de crudo sin reaccionar filtrada de los gases de combustión producidos por la planta de cemento (CKD) y harina de crudo de cemento tomada, por ejemplo, directamente de un silo de la planta de cemento.
- 25 Ventajosamente, el CaO se purga cuando la temperatura producida por la reacción exotérmica entre CO₂ y CaO cae debajo de 650 °C.
- 30 Ventajosamente, la constitución de CaO fresco para el segundo lecho fluidizado comprende piedra caliza.
- Ventajosamente, la constitución de CaO fresco para el segundo lecho fluidizado comprende harina de crudo de cemento tomada, por ejemplo, directamente de un silo de la planta de cemento.
- 35 Ventajosamente, la constitución de CaO fresco para el segundo lecho fluidizado comprende harina de crudo sin reaccionar filtrada de los gases de combustión producidos por la planta de cemento (CKD).
- 40 Ventajosamente, el CaO fresco se añade continuamente al segundo lecho fluidizado y en el que la cantidad de CaO fresco añadido durante un periodo de tiempo predeterminado está entre el 4 al 10% de la cantidad de harina de crudo suministrada al precalentador durante dicho periodo de tiempo predeterminado.
- 45 Ventajosamente, el CaO separado por el segundo ciclón cuando la capacidad del CaO para reaccionar con el CO₂ cae se purga continuamente y en el que la cantidad de CaO purgado durante un periodo de tiempo predeterminado está entre el 2 al 20% de la cantidad de harina de crudo suministrada al precalentador durante dicho periodo de tiempo predeterminado.
- 50 Ventajosamente, el calor recuperado del primer reactor de lecho fluidizado, de los gases calientes de los dos ciclones y de la corriente de purga de CaO en el método del ciclo de calcio, se usa para producir vapor para mover un generador eléctrico y producir electricidad que se usa para cubrir las necesidades de la planta de cemento.
- 55 Ventajosamente, la corriente de CO₂ que sale del segundo ciclón se secuestra por su inyección en pozos para la recuperación mejorada del petróleo.
- Ventajosamente, la corriente de CO₂ que sale del segundo ciclón se secuestra por su inyección en reservas geológicas subterráneas en el océano, así como en la tierra.
- Con referencia a la figura 1, el método convencional para la producción de cemento comienza con la molienda de las materias primas que comprenden piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. Las materias primas son finamente molidas en un molino de materias primas y se introducen en un silo de homogenización en las proporciones requeridas para la producción de cemento.

Una vez que la materia prima está finamente molida y homogenizada, se denomina harina de crudo, que se introduce a la sección de precalentamiento 20 de un horno de cemento. Dicha sección que se denomina precalentador comprende típicamente una serie de tres a seis ciclones interconectados.

5

La harina de crudo se introduce en la entrada del primer ciclón 22 y fluye hacia abajo ayudada por la gravedad a contracorriente con respecto a una corriente de gas de combustión caliente en dirección ascendente para precalentar la harina de crudo y completar la primera etapa en la producción del clinker.

- 10 El calcinador 28 se sitúa entre el penúltimo 24 y el último ciclón 26, en el que se realiza aproximadamente un 90% de la reacción de calcinación de piedra caliza. La calcinación es una reacción endotérmica en la que el calor se proporciona por la combustión de un combustible fósil 30 y/o un combustible alternativo 32 en presencia de aire y/u oxígeno 31 que se suministra a la base del calcinador 28. Dicho combustible puede estar en una forma sólida, tal como carbón vegetal y coque de petróleo, líquida, tal como aceites combustibles, o gaseosa, tal como gas natural.
- 15 Una parte de dicha energía puede proporcionarse alternativamente por combustibles alternativos, tales como neumáticos, virutas de madera, desechos industriales, etc.

En el interior del calcinador 28 se realiza la segunda etapa en la producción de clinker a una temperatura operativa típica de entre 850 °C y 900 °C.

20

Después, la harina de crudo descarbonatada se suministra al último ciclón y después a un extremo del horno giratorio 24 en el que, se realiza el proceso de clinkerización, que es la última etapa para la producción del clinker.

- El proceso de clinkerización se realiza a una temperatura de entre 1500 °C y 1600 °C, y la energía requerida se proporciona por la combustión de un combustible sólido, líquido o gaseoso o mezclas de los mismos en presencia de aire y/u oxígeno 35, incluyendo combustibles alternativos que comprenden los mismos combustibles alternativos que se han descrito previamente para el calcinador 34. Dichos combustibles se suministran al horno giratorio en el extremo opuesto en el que la harina de crudo descarbonatada se suministra.

- 30 El clinker 40 producido en el horno giratorio se enfría y se suministra a un molino en el que se mezcla con yeso y se transforma en cemento.

Emisiones del proceso convencional para la producción de cemento

- 35 Los gases de combustión del calcinador 28, y del horno giratorio 34, que incluyen el CO₂ producido por calcinaciones, fluyen hacia arriba a contracorriente con respecto a una corriente descendente de harina de crudo. Los gases que salen del primer ciclón 22 tienen una temperatura de entre 250 °C a 350 °C. Dichos gases tienen un alto contenido de polvo y, por lo tanto, es necesario pasar los gases a través de un filtro 44 con el fin de retirar el polvo. Dicho polvo se conoce como Polvo del Horno de Cemento (CKD) 45. Para proteger los elementos de filtración del filtro 44, es necesario enfriar los gases a una temperatura de menos de 300 °C. Dicho enfriamiento se realiza por inyección de agua o aire 46. Los gases enfriados 48 fluyen a un ventilador de tiro inducido (IDF) 50 que proporciona la energía necesaria a los gases para que fluyan a través del horno 34 y los ciclones del precalentador 20.

- Normalmente, los gases enfriados y limpios 52 que salen del filtro 44 se envían a una pila (no mostrada) y se liberan a la atmósfera. Dichos gases tienen un contenido de entre el 15 al 30% de CO₂ dependiendo del tipo de combustibles usados en el proceso de cemento.

- El CKD 45 recolectado del filtro 44 se recicla a un silo de harina de crudo 10. La cantidad reciclada de CKD es de entre el 5 al 10% de la cantidad total de harina de crudo suministrada al horno. Dichos gases contienen entre el 15 al 30% de CO₂ dependiendo de los combustibles usado en el proceso de cemento.

Adaptación del ciclo de calcio a la planta de producción de cemento

- De acuerdo con lo anterior, el método de la presente invención comprende conectar a la planta de cemento una planta de ciclo de calcio para capturar el CO₂ suministrando los gases de combustión 52 que salen del filtro 44 por medio de un ventilador de tiro forzado 53 para producir una corriente que se suministra a un extremo inferior de un primer reactor de lecho fluidizado 60 en la planta de ciclo de calcio, en la que los gases se contraen con una corriente sólida que tiene un alto contenido de CaO procedente de un segundo reactor de lecho fluidizado 64.

En dicho primer reactor 60 que se denomina carbonatador, el CaO contenido en la corriente sólida 62 reacciona con el CO₂ contenido en el gas que sale del filtro 44 de acuerdo con la siguiente reacción:



5

Dicha reacción es inversa a la calcinación que se realiza en la planta de cemento. De acuerdo con dicha reacción, el CO₂ contenido en los gases se solidifica reaccionando con el CaO contenido en la corriente sólida 62 y se transforma en CaCO₃.

- 10 Dicha reacción es exotérmica y se produce a una temperatura entre 600 °C y 700 °C, preferiblemente a 850 °C. Con el fin de controlar la temperatura operativa de dicho primer reactor 60, es necesario retirar continuamente el calor producido por la reacción a la que se ha hecho referencia anteriormente por medio de un sistema de enfriamiento con agua comprendido por una pluralidad de serpentines 66 que contactan con las paredes de las primeras paredes del reactor 60 o por cualquier otro aparato o método de intercambio de calor adecuado. El calor de reacción retirado
- 15 de dicho sistema de enfriamiento con agua se usa para producir vapor que, como alternativa, puede usarse para mover un generador eléctrico para producir electricidad.

De tal forma, aproximadamente, de aproximadamente el 80% al 90% del CO₂ producido en la planta de cemento se transforma en CaCO₃ y el CO₂ restante sale del primer reactor en forma de un gas.

20

Procesamiento del CaCO₃ para obtener el CO₂ capturado

- El gas y el sólido salen del extremo superior del primer reactor 60 y se suministran a un primer ciclón 68 en el que se separan. El gas 70 que sale del primer ciclón 68 que tiene un bajo contenido de CO₂ de entre el 1 al 8% y una
- 25 temperatura de entre 600 °C y 700 °C se suministra a un intercambiador de calor 72. El calor retirado de dicho sistema de enfriamiento de agua se usa para producir vapor que, como alternativa, puede usarse para mover un generador de electricidad para producir electricidad.

- El sólido que sale del primer ciclón 74 que comprende principalmente CaCO₃, se suministra al extremo inferior de un
- 30 segundo reactor de lecho fluidizado 64 en el que se realiza la descarbonatación de CaCO₃ de acuerdo con la siguiente reacción:



- 35 El segundo reactor 64 se denomina descarbonatador. La reacción de descarbonatación es una reacción endotérmica que se realiza a una temperatura de entre 850 C y 950 °C y, por lo tanto, es necesaria para proporcionar energía a dicho segundo reactor 64. Dicha energía se proporciona por la combustión de un combustible fósil o un combustible alternativo en forma de un sólido, líquido o gas 76. Con el fin de evitar la introducción de nitrógeno en los gases de combustión, que diluirán el contenido de CO₂ en los gases que salen del segundo reactor
- 40 64, la combustión para el segundo reactor 64 debe realizarse con oxígeno que se suministra por una corriente 77. Los gases 78 que salen del segundo reactor 64 contienen una parte mayor del CO₂ producido por la planta de cemento y el CO₂ producido por la combustión realizada en el segundo reactor 64. Típicamente, el contenido de CO₂ en los gases 78 que salen del segundo reactor 64 es de entre el 90 al 99%.
- 45 La corriente 80 que sale del segundo reactor 64 está comprendida por una corriente gaseosa que contiene principalmente CO₂ y una corriente sólida que contiene principalmente CaO. Dicha mezcla de sólido-gas sale del segundo reactor 64 por un extremo superior 80 del mismo y se suministra a un segundo ciclón 82 en el que el sólido y el gas se separan: la corriente gaseosa 78, que contiene principalmente CO₂ que sale del segundo reactor 64 a una temperatura de entre 850 C y 950 °C y se suministra a un aparato intercambiador de calor 84 en el que su calor
- 50 sensible puede usarse, como alternativa, para producir vapor para mover un generador eléctrico.

- La corriente gaseosa 78 que sale del segundo ciclón 84 tiene un contenido de CO₂ del 90 al 99% (base seca) que puede secuestrarse por su inyección en pozos de recuperación de petróleo (recuperación mejorada del petróleo - EOR-) o usando cualquier otra tecnología de secuestro, tal como la inyección de CO₂ en reservas geológicas
- 55 ubicadas en el océano, así como en la tierra. Por dichos medios, las emisiones de CO₂ de la planta de cemento se reducen en un 80%, reduciendo de esta manera las emisiones de gases de efecto invernadero.

Ciclo de productos sólidos en el ciclo de calcio, constitución y purga del reactivo principal del ciclo de calcio

La corriente sólida 62 que sale del segundo ciclón 82 que comprende principalmente CaO, se suministra al extremo inferior del primer reactor 60, por lo que puede reaccionar con el CO₂ contenido en la corriente gaseosa 54 que sale de la planta de cemento, cerrando de esta manera un ciclo.

La capacidad del CaO para reaccionar con el CO₂ contenido en el gas de combustión de la planta de cemento comienza a caer cuando el número de ciclos de carbonatación/calcinaciones realizados en los reactores 60 y 64 aumenta, es decir, cuando los parámetros, tales como la cantidad de CaCO₃ producido por la reacción cae debajo de un parámetro predeterminado o cuando la temperatura producida por la reacción exotérmica comienza a caer debajo de 600 °C pero preferiblemente 650 °C. Para mantener la reactividad del CaO que fluye en la planta del ciclo de calcio, para reaccionar con el CO₂, es necesario suministrar continuamente dicho sistema con una corriente fresca de CaO y para purgar continuamente del sistema aproximadamente la misma cantidad de CaO para mantener el equilibrio.

El CaO se purga del segundo ciclón 82 que sale de la línea conectada al primer reactor 60 y dicho segundo ciclón 82. Dicha purga contiene principalmente CaO que comprende piedra caliza descarbonatada, que puede suministrarse a un ciclón de última fase 26 del precalentador 20 y el horno giratorio 34 sin la necesidad de calcinación, aumentando de esta manera la productividad del horno de cemento y disminuyendo su consumo de energía. La purga de CaO se suministra a un aparato intercambiador de calor 87 para recuperar su calor con el fin de producir vapor para mover un generador eléctrico.

En una primera realización de la presente invención mostrada en la figura 1, el suministro de CaO fresco 88, que comprende una mezcla obtenida por cualquier combinación de piedra caliza, harina de crudo sin reaccionar filtrada de los gases de combustión producidos por la planta de cemento (CKD) y harina de crudo de cemento tomado, por ejemplo, directamente de un silo de la planta de cemento, se suministra en forma de piedra caliza pulverizada, en la que el contenido de CaCO₃ es superior a un 95%. La piedra caliza se suministra al segundo reactor de lecho fluidizado 64 en el que se descarbonata junto con el CaCO₃ procedente del primer reactor 60. La corriente sólida que sale del segundo ciclón 82 está comprendida por el CaO producido por las calcinaciones de CaCO₃ procedentes del primer reactor 60 y el CaO producido por las calcinaciones del suministro de piedra caliza fresco 88 suministrado al segundo reactor 64.

En una segunda realización de la presente invención mostrada en la figura 2, el suministro de CaO fresco 188 comprende harina de crudo directamente tomada del silo de la planta de cemento 100. El contenido de CaCO₃ de la harina de crudo es de aproximadamente el 70-80% que es inferior que el contenido de CaCO₃ en piedra caliza debido a que la harina de crudo está comprendida por una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. Debido a su bajo contenido de CaCO₃, la cantidad de harina de crudo que debe suministrarse es mayor que la cantidad de piedra caliza suministrada de acuerdo con la primera realización de la invención. La ventaja de suministrar harina de crudo es que la corriente de purga 186 está comprendida por sólidos que tienen la misma composición química que la harina de crudo calcinada producida en el calcinador de la planta de cemento 128, por lo tanto, dichos sólidos pueden suministrarse directamente como una corriente 190 al último ciclón 126 del precalentador 120. Las ventajas de esta segunda realización sólo pueden aprovecharse cuando la planta del ciclo de calcio está integrada a la planta de cemento.

Como alternativa, la corriente de purga también puede usarse en el proceso de fabricación de cemento como una materia prima añadida en la etapa de molido de harina de crudo.

En una tercera realización de la presente invención, mostrada en la figura 3, el suministro CaO fresco 288 comprende CKD tomado directamente de la corriente 245 ubicada a la salida del filtro 244. El polvo del horno de cemento (CKD) está comprendido por harina de crudo sin reaccionar que tiene un contenido de CaCO₃ de aproximadamente el 75%. Debido al bajo contenido de CaCO₃ en el CKD, la cantidad del CKD que debe suministrarse es mayor que la cantidad de piedra caliza suministrada de acuerdo con la primera realización de la invención. La ventaja suministrar CKD es que la corriente de purga 286 está comprendida por sólidos que tienen la misma composición química que la harina de crudo calcinada producida en el calcinador de la planta de cemento 228.

Las ventajas de esta tercera realización sólo pueden aprovecharse cuando la planta del ciclo de calcio está integrada a la planta de cemento.

La cantidad de CaO fresco que se va a añadir en forma de piedra caliza pulverizada, harina de crudo o CKD depende de varios factores, tales como la producción de la planta de cemento, el consumo de energía de la planta de cemento, el tipo de combustible usado en las plantas del ciclo de calcio y cemento, el porcentaje de oxígeno en exceso presente en el calcinador, las temperaturas operativas tanto de los reactores de la planta del ciclo de calcio como la cantidad de CO₂ que se va a capturar.

Sin embargo, la cantidad de CaO fresco que se va a añadir continuamente durante un periodo de tiempo predeterminado puede cuantificarse en una cantidad de preferiblemente entre el 4 al 20% de la cantidad de harina de crudo suministrada al precalentador durante dicho periodo de tiempo predeterminado. De la misma manera, la cantidad de CaO purgado del sistema durante dicho periodo de tiempo predeterminado puede cuantificarse en una cantidad de preferiblemente entre el 2 al 20% de la cantidad de harina de crudo suministrada al precalentador durante el mismo periodo de tiempo predeterminado.

La purga de CaO pulverizado se usa como materia prima suministrándola directamente al último ciclón 226 del precalentador 220 a través de la corriente 290, aumentando de esta manera la productividad de la planta de cemento. Adicionalmente, al recuperar el calor producido en el primer reactor, el calor de las corrientes gaseosas que salen de los dos ciclones y el calor de la corriente de purga de CaO, es posible generar la necesidad de electricidad para cubrir las necesidades de la planta de cemento.

Como alternativa, las corrientes de purga de las tres modalidades también pueden usarse conjuntamente en el proceso de fabricación de cemento como una materia prima añadida en la etapa de molido de harina de crudo junto con las materias primas frescas (piedra caliza, arcilla, mineral de hierro, etc.) con el fin de optimizar el proceso de ciclo y el uso de fuentes disponibles de la corriente de CaO fresco.

El CaO fresco que se va a añadir continuamente también puede ser una mezcla de las tres fuentes de CaO que se han descrito anteriormente (piedra caliza pulverizada, harina de crudo pulverizada o polvo de horno de cemento). Típicamente, las mezclas de piedra caliza pulverizada y CKD, mezclas de CKD y harina de crudo de cemento pulverizada, mezclas de harina de crudo pulverizada y piedra caliza pulverizada y mezclas de las 3 fuentes juntas pueden usarse como una corriente de CaO fresco. En este caso, la composición de la corriente purgada puede ser diferente a la de la harina de crudo. Por lo tanto, el uso de la corriente purgada como una materia prima para el proceso de fabricación de cemento demanda una dosificación adaptada de la otra materia prima fresca (piedra caliza, arcilla, mineral de hierro, etc.) que puede realizarse mejor adaptando sus contenidos respectivos antes de introducirse en el molino de harina de crudo junto con la corriente purgada. Ya que las composiciones químicas de todas las corrientes de material que entran al molino de materias primas se conocen como parte del control del proceso de cemento convencional, la presente invención incluye una etapa para controlar la composición química de la corriente purgada (típicamente por análisis químico) con el fin de adaptar todos las corrientes de materiales frescos que entran al molino de materias primas para asegurar que la composición de harina de crudo de cemento sea constante y cumpla los requerimientos de la composición química impuestos por el proceso de fabricación de cemento.

REIVINDICACIONES

1. Un método para capturar CO₂ producido por plantas de cemento usando el método del ciclo de calcio, en el que el cemento se produce por la planta de cemento por el siguiente método: moler las materias primas que comprenden piedra caliza, arcilla y mineral de hierro; homogeneizar las materias primas con el fin de producir una harina de crudo; precalentar la harina de crudo en la sección del precalentador de un horno de cemento para producir una harina de crudo precalentada; calcinar la harina de crudo precalentada en la sección de calcinación del horno de cemento para producir una harina de crudo calcinada; suministrar la harina de crudo calcinada en un horno giratorio con el fin de producir un clinker; enfriar el clinker y suministrarlo a un molino para mezclar el clinker con yeso y producir cemento, en el que la sección del calcinador del horno de cemento y el horno giratorio producen gases de combustión que se enfrían y tienen un contenido de entre un 15 al 30% de CO₂ y harina de crudo sin reaccionar que contiene CaCO₃ que se filtra del gas; y en el que el método del ciclo de calcio comprende: poner en contacto dichos gases de combustión que contienen CO₂ con una corriente sólida que tiene un alto contenido de CaO en el interior de un primer reactor de lecho fluidizado con el fin de producir una reacción exotérmica entre el CO₂ y el CaO para producir una mezcla de sólido-gas comprendida por una corriente CaCO₃ y una corriente gaseosa que tiene un contenido de CO₂ inferior; suministrar dicha corriente de sólido-gas a un ciclón para separar los sólidos de la corriente gaseosa y obtener sólidos de CaCO₃ y un gaseoso caliente que tiene un contenido de CO₂ inferior; suministrar los sólidos de CaCO₃ a un segundo reactor de lecho fluidizado al que se proporciona calor por medio de una reacción de combustión, con el fin de descarboxilar el CaCO₃ y producir una mezcla de sólido-gas comprendida por una corriente de CaO sólido y una corriente de gas comprendida principalmente por CO₂ caliente procedente de la corriente gaseosa que sale de la planta de cemento y de la reacción de combustión que proporciona calor al segundo lecho fluidizado; suministrar la corriente de CaO sólido y la corriente de CO₂ caliente a un segundo ciclón con el fin de separar los sólidos del CO₂ caliente y producir una corriente de CO₂ caliente separada de una corriente de CaO sólido; y reciclar el CaO al primer reactor de lecho fluidizado, en el que el método de la presente invención comprende: suministrar los gases de combustión producidos por la sección de calcinador y por el horno giratorio de la planta de producción de cemento al primer reactor de lecho fluidizado del método del ciclo de calcio; suministrar la corriente de CaO sólido separada por el segundo ciclón al primer reactor de lecho fluidizado; purgar una cantidad del CaO separado por el segundo ciclón cuando la capacidad del CaO para reaccionar con el CO₂ cae, y suministrarlo directamente al horno giratorio de la planta de cemento; y constituir CaO fresco para el segundo reactor de lecho fluidizado del método del ciclo de calcio y en el que la constitución de CaO fresco para el segundo reactor de lecho fluidizado comprende una mezcla obtenida por cualquier combinación de piedra caliza, harina de crudo sin reaccionar filtrada de los gases de combustión producidos por la planta de cemento (CKD) y harina de crudo de cemento tomada, por ejemplo, directamente de un silo de la planta de cemento.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el CaO se purga cuando la temperatura producida por la reacción exotérmica entre CO₂ y CaO cae debajo de 650 °C.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la constitución de CaO fresco para el segundo lecho fluidizado comprende piedra caliza.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la constitución de CaO fresco para el segundo lecho fluidizado comprende harina de crudo de cemento tomada, por ejemplo, directamente de un silo de la planta de cemento.
5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la constitución de CaO fresco para el segundo lecho fluidizado comprende harina de crudo sin reaccionar filtrada de los gases de combustión producidos por la planta de cemento (CKD).
6. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el CaO fresco se añade continuamente al segundo lecho fluidizado y en el que la cantidad de CaO fresco añadido durante un periodo de tiempo predeterminado está entre el 4 al 10% de la cantidad de harina de crudo suministrada al precalentador durante dicho periodo de tiempo predeterminado.
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el CaO separado por el segundo ciclón cuando la capacidad del CaO para reaccionar con el CO₂ cae se purga continuamente y en el que la cantidad de CaO purgado durante un periodo de tiempo predeterminado está entre el 2 al 20% de la cantidad de harina de crudo suministrada al precalentador durante dicho periodo de tiempo predeterminado.
8. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el calor recuperado del primer reactor de

lecho fluidizado, de los gases calientes de los dos ciclones y de la corriente de purga de CaO en el método del ciclo de calcio, se usa para producir vapor para mover un generador eléctrico y producir electricidad que se usa para cubrir las necesidades de la planta de cemento.

5 9. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la corriente de CO₂ que sale del segundo ciclón se secuestra por su inyección en pozos para la recuperación mejorada del petróleo.

10. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la corriente de CO₂ que sale del segundo ciclón se secuestra por su inyección en reservas geológicas subterráneas en el océano, así como en la tierra.

10

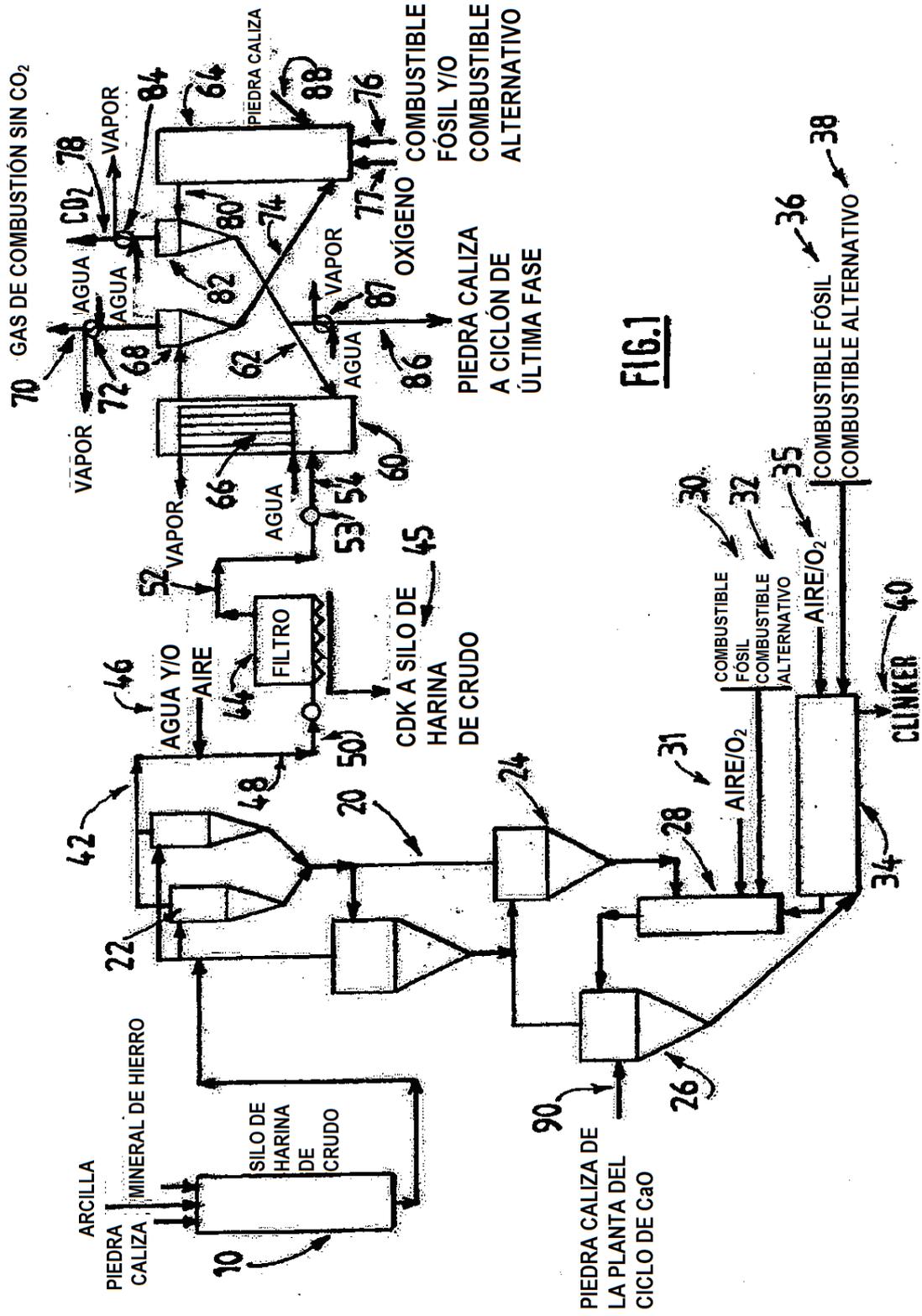


FIG.1

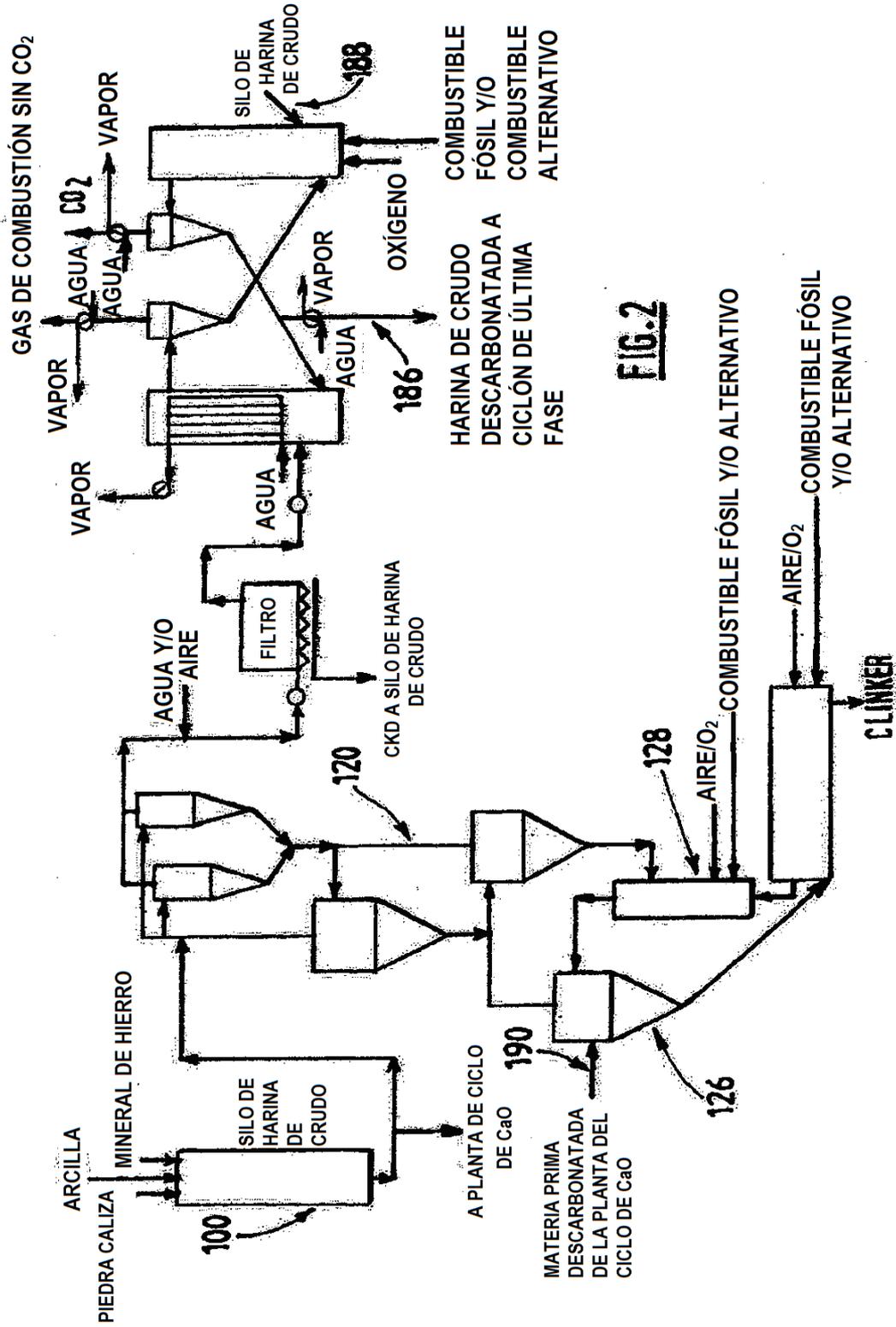


FIG. 2

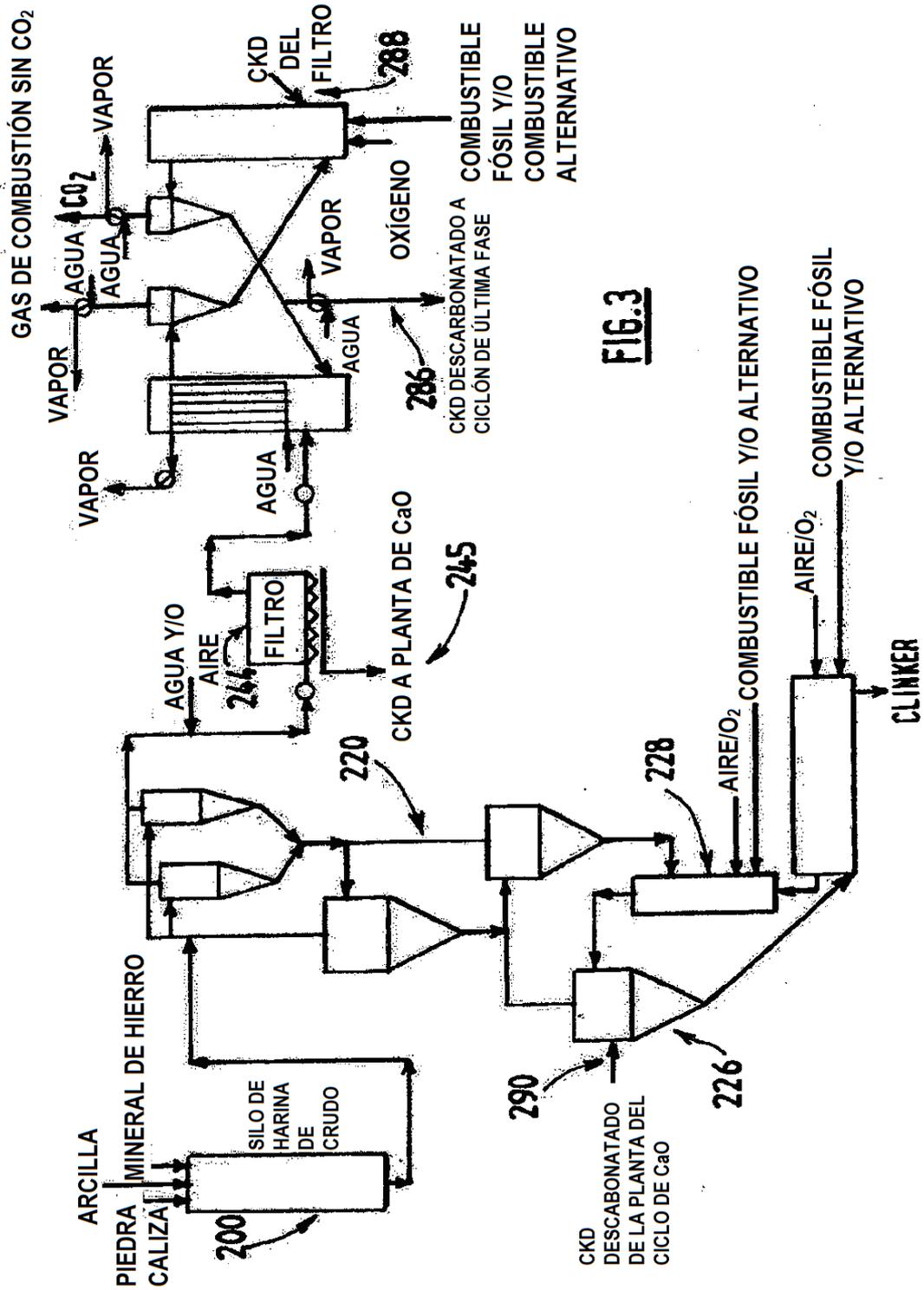


FIG. 3