

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 782 004**

51 Int. Cl.:

C04B 7/02 (2006.01)

C04B 7/43 (2006.01)

C04B 7/48 (2006.01)

B01J 6/00 (2006.01)

C04B 2/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.11.2014 PCT/AU2014/001054**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2015 WO15077818**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2014 E 14865329 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2020 EP 3074360**

54 Título: **Proceso para la fabricación de cemento Portland**

30 Prioridad:

29.11.2013 AU 2013904639

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

09.09.2020

73 Titular/es:

**CALIX LTD (100.0%)
Level 1 9 Bridge Street
Pymble, NSW 2073, AU**

72 Inventor/es:

SCEATS, MARK

74 Agente/Representante:

SERRANO IRURZUN, Francisco Javier

ES 2 782 004 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

Proceso para la fabricación de cemento Portland

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere ampliamente a un proceso para la fabricación de cemento Portland o cal que está adaptado para facilitar la captura de carbono.

ANTECEDENTES

10 La producción de cemento Portland es una industria productora de 3.400 millones de toneladas de polvo de cemento al año, y es la segunda mayor fuente de emisiones de CO₂ por el hombre, con aproximadamente 0,8 toneladas de CO₂ producido por tonelada de cemento. De estas, alrededor del 60 % se deriva del CO₂ emitido por el procesamiento de CaCO₃ de piedra caliza a CaO de cal en la producción de clínker de cemento en un proceso conocido como calcinación, y el 40 % proviene de la quema de combustibles fósiles para producir el cemento. Se requiere la reducción de las emisiones de CO₂ para reducir el calentamiento global, y la industria del cemento Portland está bajo presión para reducir sus emisiones de CO₂.

15 Las mejoras incrementales en la eficiencia del proceso de producción son un enfoque, pero las mejoras incrementales no permiten reducciones sustanciales. Los otros enfoques que se han desarrollado incluyen la aplicación de captura posterior a la combustión en la que el CO₂ de la corriente de gas de escape, que contiene el CO₂ de la calcinación de carbonato y la combustión de combustible. Procesos establecidos, tales como amina de extracción, son demasiado caros de capital, y el enfoque reciente ha sido en el uso de cal, CaO, como una alta temperatura de CO₂ sorbente, en un proceso llamado de bucle de calcio. Este proceso se encuentra en la etapa piloto de demostración. Tiene la ventaja de que el sorbente de CaO gastado se consume en el cemento Portland. Este proceso tiene la desventaja de que el proceso de captura se lleva a cabo a aproximadamente la presión ambiental y el tamaño y el costo de la planta serían muy grandes, acercándose al de la propia planta de cemento Portland. Una preocupación importante es la penalización derivada del consumo de energía adicional para el proceso de bucle de calcio. Este es un costo y se suma a la escala de la planta.

25 Otro enfoque es la combustión de oxígeno-combustible en la que se usa oxígeno puro para la combustión en lugar de aire, en cuyo caso el gas de escape es CO₂ y vapor, lo que permite capturar el CO₂ condensando el vapor. El costo de una planta de separación criogénica es un costo muy grande, y la planta de cemento Portland debe ser rediseñada significativamente para tener en cuenta los muy diferentes flujos de gases de combustión a través de los hornos y otros procesos.

30 Las plantas de cemento Portland generalmente usan carbón y materiales de desecho como combustible, en lugar de gas natural, por lo que los enfoques basados en la captura previa a la combustión para producir una corriente de gas hidrógeno a partir del gas natural generalmente no son aplicables.

La producción de cal es similar a la del cemento Portland, excepto que se utiliza una piedra caliza de mayor calidad y se excluye la arena y la arcilla para producir un producto de cal.

35 Existe la necesidad de un proceso que pueda reducir significativamente las emisiones de CO₂ de un proceso de cemento Portland o cal sin el requisito de grandes plantas de procesamiento adicionales descritas anteriormente. En todos los esquemas de reducción de CO₂ considerados anteriormente, el CO₂ debe comprimirse para su secuestro.

40 La producción de cemento Portland ahora utiliza el "proceso seco" en el que las partículas de cal y arena se fusionan en el horno rotativo, en comparación con el "proceso húmedo" utilizado anteriormente en el que la piedra caliza, la arena y otros aditivos se presionan en un gránulo. El proceso seco tiene una menor demanda de energía que el proceso húmedo. Esta invención está dirigida al proceso seco.

45 En el proceso seco, la piedra caliza se recibe como rocas, que se trituran y se muelen a un tamaño de partícula de menos de 100 micrómetros, y se mezclan uniformemente con arena que también se ha molido a menos de 100 micrómetros. Se pueden agregar otros materiales molidos, tal como arcilla y óxido de hierro para una formulación de cemento particular. Generalmente, las diferentes corrientes de partículas se mezclan en una tolva diseñada para una mezcla eficiente para dar a una mezcla homogénea. El proceso de cemento seco se basa en una mezcla eficiente para promover la fusión y la reacción en un horno rotativo.

50 En el proceso seco convencional, el polvo mezclado se precalienta mediante el escape de gases de combustión del horno utilizando una pila de ciclones precalentadores, que es un banco de ciclones en serie. En cada etapa, las partículas más frías se calientan mezclándose con los vapores de gases de combustión más calientes, y el gas y las partículas equilibrados se separan en un ciclón. Este proceso se repite muchas veces en una secuencia en la que se eleva la temperatura de las partículas y se reduce la del gas. Una planta moderna puede tener hasta seis de estas etapas para lograr una alta eficiencia de recuperación de calor y, por lo tanto, reducir la demanda de energía. Este enfoque por etapas de mezclar y desmezclar se aproxima a un intercambiador

de calor de contraflujo en el que se eleva la temperatura de los sólidos y se baja la del gas. A medida que la temperatura aumenta durante estas etapas de precalentamiento, la reacción de calcinación de la piedra caliza procederá en un grado tal que la presión parcial de CO₂ no sea mayor que la presión de equilibrio de la reacción de calcinación. Se puede lograr hasta aproximadamente un 30 % de reacción en la pila de ciclones precalentadores.

5

Las caídas de presión acumuladas en cada etapa del ciclón son altas a medida que las partículas se aceleran en cada etapa. Estas caídas de presión se acumulan y presentan una penalización energética significativa para operar los sopladores para forzar el gas de combustión en la pila de ciclones precalentadores y por extraer el gas de combustión.

10

En el enfoque convencional, el polvo de la pila de ciclones precalentadores se inyecta en un calcinador instantáneo donde se mezclan con el vapor de gas de combustión caliente del horno de clínker descrito y carbón. La corriente de gas de combustión caliente tiene un exceso de aire que se quema con el carbón para conducir la reacción de calcinación hacia su finalización de modo que se logre una calcinación del 95 % y la temperatura de escape sea de aproximadamente 900 °C. La temperatura del gas de escape se mantiene por debajo de la temperatura en la que la arena comenzará a vitrificar y se comienzan a formar silicatos de calcio. Los sólidos se separan una vez más de la corriente de gases de combustión, lo que aumenta la penalización por caída de presión. Los polvos de cal y arena mezclados homogéneamente precalentados están listos para su procesamiento en el horno rotativo.

15

20

Se apreciará que el enfoque convencional utiliza la mezcla de polvo y gas para cada una de las etapas en la pila de precalentador y en el calcinador instantáneo. Esto proporciona una transferencia de calor muy eficiente, pero tiene los atributos indeseables de requerir muchas etapas de mezcla y separación de polvo de gas para lograr una eficiencia térmica general del sistema.

25

Una desventaja de la mezcla de polvo y gas es que el gas de escape puede tener grandes cantidades de polvo de cemento que debe separarse y reinyectarse en el proceso para cumplir con los estándares de emisiones. El costo de las unidades de filtro se ajusta al flujo de gas, y el desgaste de las unidades de filtro está asociado con el polvo arrastrado. Estas son desventajas del proceso convencional.

30

La producción de cal generalmente se lleva a cabo en hornos, que no son susceptibles de captura de CO₂ descritos en la presente divulgación. Sin embargo, la piedra caliza molida, o el polvo del horno de cal, se calcina en calcinadores instantáneos similares a los descritos anteriormente para el cemento Portland. En ese caso, la pila de precalentador y el calcinador instantáneo se incrementan mediante un enfriador de ciclón que se usa para precalentar el aire para la combustión. Un experto en la materia entenderá que los beneficios descritos en detalle en esta invención para el cemento Portland también son aplicables con respecto a la producción de cal con captura de CO₂.

35

En el caso del cemento Portland, las partículas calientes calcinadas precalentadas se inyectan en el horno de clínker, que es un horno rotativo alimentado por una contracorriente de gases de combustión producidos por la combustión del carbón a una temperatura de aproximadamente 1450 °C con aire precalentado. A estas temperaturas, la arena se fusiona con la cal y las partículas comienzan a aglomerarse en gránulos de la misma manera que en la fabricación de vidrio de sílice. En los gránulos, las reacciones proceden para formar los silicatos de calcio que definen la composición del cemento Portland y el sinterizado de gránulos. La fusión, la reacción y la sinterización conducen a una corriente de escape de silicatos de calcio en forma de gránulos de clínker de aproximadamente 10-30 mm de diámetro. Los gránulos de clínker se enfrían mediante un precalentador de aire forzado y luego se muelen para formar cemento en polvo. El aire calentado se usa en el proceso de combustión descrito anteriormente. La cantidad de aire precalentado es suficiente para quemar completamente el combustible en el horno rotativo y en el calcinador instantáneo. Este es un gran volumen de gas que fluye en contra de las partículas de entrada y los gránulos en crecimiento, y la propensión de las partículas y gránulos más ligeros a ser arrastrados en la corriente de gas requiere un diseño cuidadoso del horno rotativo.

40

45

50

El gas de combustión del horno rotativo también contiene impurezas volátiles, y una ventaja de la mezcla en la pila de ciclones precalentadores es que estas impurezas, principalmente óxidos de azufre, reaccionan con la alimentación cruda y se oxidan a yeso y se secuestran en el cemento.

55

La corriente de gases de combustión que sale de la pila de ciclones precalentadores es el resultado del primer y segundo proceso de combustión, y contiene el dióxido de carbono (CO₂) del proceso de calcinación. Esta corriente de gas tiene una propensión a comprender una cantidad significativa de monóxido de carbono generado en la combustión de los combustibles en presencia de CO₂. El monóxido de carbono es tóxico y sus emisiones están reguladas. La eficiencia energética del proceso de cemento Portland se reduce por el exceso de aire que debe inyectarse en el proceso de combustión y calentarlo. La presencia del CO₂ de la calcinación de piedra caliza es una desventaja del proceso.

El documento WO2007/143333 divulga un proceso para producir clínker de cemento Portland a partir de al menos piedra caliza triturada y arena y arcilla trituradas.

SUMARIO DE LA INVENCION

- 5 La invención tiene como objetivo proporcionar mejoras a los procesos para la fabricación de cemento Portland que pueden superar algunas o todas las deficiencias descritas anteriormente del proceso convencional, incluyendo sin limitación uno o más de:
- a. facilitar la captura de dióxido de carbono;
 - b. limitar las caídas de presión, lo que permite el uso de una presión de aire forzada más baja, con una reducción del consumo de energía;
 - 10 c. permitir que el flujo de volumen de aire de entrada se optimice para lograr un procesamiento eficiente en el horno, en lugar de estar limitado para garantizar que el gas de combustión tenga suficiente oxígeno en exceso para impulsar la combustión de combustible en el calcinador instantáneo;
 - d. minimizar el flujo volumétrico de gases de combustión con partículas arrastradas, lo que permite una reducción en el tamaño del filtro y el costo de las emisiones de gases de combustión;
 - 15 e. proporcionar aire precalentado adicional a la corriente de gas de combustión, lo que permite la reducción de las emisiones de monóxido de carbono.

20 Un primer aspecto de la presente invención puede incluir: Un proceso para producir clínker de cemento Portland a partir de al menos piedra caliza triturada y arena triturada que incluye las etapas de: Mezclar la piedra caliza y la arena para formar un polvo mezclado; calcinar el polvo mezclado en un reactor de calcinación, en el que el reactor de calcinación está adaptado para aplicar calor indirecto generado por la combustión de una primera entrada de combustible para producir el polvo mezclado, y en el que el reactor de calcinación precalienta el polvo mezclado en un primer segmento, y hace reaccionar el polvo precalentado en un segundo segmento para generar una primera corriente de gas de dióxido de carbono a partir de la calcinación de piedra caliza y una segunda corriente de gas separada de la combustión de la primera entrada de combustible y una corriente del polvo mezclado; introducir el polvo mezclado calcinado en un horno usando calentamiento directo para producir clínker de cemento Portland, donde el horno se alimenta por la combustión de una segunda entrada de combustible mezclada con aire precalentado por el clínker de cemento Portland caliente que sale del horno.

30 Preferentemente, la primera corriente de gas puede enfriarse, comprimirse y almacenarse. El proceso también puede incluir una etapa adicional en la que la primera entrada de combustible es un gas mezclado con aire, en el que el aire se ha precalentado por intercambio de calor con el enfriamiento de la primera corriente de gas. Más preferentemente, este intercambio de calor se produce dentro del precalentador de sólidos del reactor de calcinación, de modo que el polvo mezclado de entrada y el aire se precalientan por la primera y segunda corrientes de gas caliente, sin mezclar los sólidos con estas corrientes de gas.

35 Preferentemente, la primera entrada de combustible incluye una corriente de deslizamiento de la corriente de gas de escape desde el horno, que tiene suficiente exceso de aire para proporcionar una combustión completa de ese combustible. Preferentemente, la arena puede incluir diversos aditivos de fraguado, incluyendo catalizadores y retardantes de fraguado.

40 Un segundo aspecto de la presente invención describe un medio de producción de cemento Portland en el que el CO₂ de la calcinación de carbonato está disponible para su captura como corriente de gas puro por un cambio en el flujo del proceso de una planta de cemento Portland convencional. Esta invención no captura el CO₂ de la combustión del combustible y, por lo tanto, se limita a la reducción de emisiones en un 60 %. Esta es una reducción muy significativa. La invención puede funcionar con cualquier proceso de captura de carbono para la corriente de gases de combustión. Si el combustible utilizado era un residuo de biocombustible, entonces se pueden lograr cero emisiones.

45 Un tercer aspecto de la presente invención puede incluir un proceso para producir cal a partir de polvo de piedra caliza, que incluye las etapas de: Calcinar el polvo de piedra caliza en un reactor de calcinación, en el que el reactor de calcinación está adaptado para aplicar calor indirecto generado por la combustión de una entrada de combustible para producir un polvo mixto precalentado, y en el que el reactor de calcinación genera una primera corriente de gas de dióxido de carbono a partir de la calcinación de piedra caliza y una segunda corriente de gas separada de la combustión de la primera entrada de combustible; enfriar el polvo calcinado en un intercambiador de calor, de modo que el aire precalentado se use en la combustión.

50 Preferentemente, el polvo se precalienta antes de calcinar el polvo. Preferentemente, la primera corriente de gas se enfría, comprime y almacena. Más preferentemente, la primera entrada de combustible es un gas mezclado con aire, en el que el aire se ha precalentado mediante intercambio de calor con el enfriamiento de la primera corriente de gas.

- 5 Se pueden incluir medios de producción de cemento Portland en los que la cantidad de gas de combustión que ha arrastrado partículas de cemento se reduce significativamente del proceso convencional en el que el gas de combustión de la combustión de la primera y la segunda cámara de combustión se mezclan con la corriente de polvo de entrada. La primera cámara de combustión generalmente consume al menos alrededor del 60 % del combustible, y la segunda cámara de combustión consume al menos alrededor del 30 % del combustible. En la presente divulgación, el polvo se mezcla solo con la segunda corriente de gas de combustión, y este polvo de cemento se separa usando ciclones convencionales de modo que el tamaño de la unidad de filtro de gas de combustión se reduce significativamente.
- 10 Se pueden incluir medios de producción de cemento Portland en los que la producción de monóxido de carbono en el gas de combustión se reduce significativamente del proceso convencional. El dióxido de carbono caliente se reemplaza en la corriente de gas por aire precalentado, de modo que el primer proceso de combustión hasta su finalización, de modo que la producción de monóxido de carbono se reduce considerablemente.
- 15 La invención divulga el uso de una corriente de deslizamiento del polvo mezclado que se inyecta en el gas de combustión del horno. Esta corriente de polvo se precalienta mediante el gas de combustión caliente a una temperatura en la que los compuestos volátiles, principalmente óxidos de azufre, reaccionan con el polvo para formar compuestos no volátiles, como el sulfato de calcio, que se secuestra en el cemento cuando la corriente de polvo se calcina y se mezcla con la corriente de polvo calcinado primario, y se procesa para cementar en el horno.
- 20 En realizaciones preferentes, el molido y la trituración de la alimentación cruda, y los procesos de trituración de clínker pueden ser esencialmente iguales a los ya conocidos. El horno rotativo y el enfriador de clínker pueden ser sustancialmente los mismos que los conocidos en la técnica. Los procesos de mezcla de polvo, precalentamiento y calcinación instantánea cambian de calentamiento directo a calentamiento indirecto para permitir la captura de carbono.
- 25 Otros aspectos de esta presente invención pueden divulgar además una modificación de la pila de ciclones precalentadores y el calcinador instantáneo que usa calentamiento indirecto en el que los gases de combustión y las corrientes de proceso no se mezclan a propósito. En ese contexto, se observa que el CO₂ de la calcinación se mezcla con el gas de combustión de la combustión del carbón y la corriente de gas de entrada del horno de clínker, y que el uso de un sistema indirecto de calcinación y transferencia de calor no mezclará el CO₂ de la calcinación y los gases de combustión.
- 30 En una forma, la divulgación de la invención proporciona un procedimiento de fabricación de cemento Portland en el que el dióxido de carbono de la calcinación de carbonatos, principalmente piedra caliza, se produce como una corriente separada de dióxido de carbono, que puede comprimirse o licuarse para su secuestro u otros usos, con la intención principal de que no se emita.
- 35 La divulgación proporciona un proceso en el que los minerales de carbonato molido, principalmente piedra caliza, se precalientan y calcinan en un reactor de calcinación instantánea de contraflujo calentado indirectamente, de modo que la salida del reactor es una corriente de gas de CO₂ esencialmente puro y corriente de sólidos de cal caliente. El calor para la reacción se proporciona mediante transferencia de calor a través de las paredes de este reactor mediante la combustión de combustible y aire precalentado en una cámara separada.
- 40 Otros aspectos de la divulgación se refieren a los procesos de precalentamiento de la arena premezclada y otros aditivos por la corriente de gases de combustión, preferentemente por calentamiento indirecto en un intercambiador de calor de sólidos y gases, y la mezcla homogénea de esta corriente con la cal caliente para inyección en el horno rotativo. Los procesos posteriores de fusión y sinterización en el horno rotativo para producir clínker, enfriar el clínker mediante un precalentador de aire y moler el clínker enfriado pueden ser sustancialmente los mismos que el proceso convencional para la producción de cemento Portland.
- 45 El precalentamiento del aire para la cámara de combustión de lo que se ha calentado indirectamente se consigue preferentemente por enfriamiento de la corriente de gas CO₂, con cualquier precalentamiento adicional procedente del gas de combustión de este calcinador. Esto significa que la demanda de aire requerida para el horno rotativo no está dictada por la necesidad de tener un exceso de aire en el escape de gases de combustión para esta combustión.
- 50 En otra forma, la piedra caliza, la arena y otros aditivos se mezclan antes del precalentamiento y la calcinación en el reactor de contraflujo calentado indirectamente. Esta forma implica un reactor más grande porque debe precalentar la arena y otros aditivos. Este no es un modo de realización preferente debido a la posibilidad de que la arena y la cal comiencen su reacción en este reactor, lo que podría conducir a la acumulación de una capa de material vítreo aislante en las paredes del reactor.
- 55 El enfriamiento de la corriente de gas CO₂ se logra preferentemente precalentando una corriente de aire para la cámara de combustión del calcinador calentado indirectamente. Esta corriente de aire aumenta el aire precalentado del enfriador de clínker, de modo que se aumenta el exceso de oxígeno y la combustión produce

un mínimo de monóxido de carbono. El reemplazo de la corriente de gas de CO₂ caliente por un vapor de gas de aire precalentado significa que las pérdidas de calor de la planta se minimizan y la eficiencia térmica del proceso es similar a la del proceso convencional.

- 5 El precalentamiento de los sólidos mediante el calentamiento indirecto del gas de combustión es tal que la caída de presión del gas de combustión está determinada por los efectos típicos de la fricción del gas, y se reduce en gran medida en comparación con el proceso convencional porque estas corrientes de gas no experimentan las caídas de presión de gas al acelerar los polvos en múltiples ciclones. Esto reduce la potencia requerida para extraer los gases de combustión a través de la planta, tanto para el primer como para el segundo proceso de combustión.
- 10 La separación del gas de combustión del horno rotativo del gas de calcinación es tal que el desgaste del calcinador y los refractarios del precalentador de polvo de las partículas de cemento arrastradas se reduce o elimina significativamente. Los polvos introducidos en el precalentador y el calcinador fluyen por los tubos a bajas velocidades, típicamente alrededor de menos de 5 metros por segundo, de modo que hay muy poco desgaste en el acero del reactor.
- 15 En la producción de cal a partir de piedra caliza, el alimento es un polvo de piedra caliza sustancialmente puro. Los beneficios de la invención descritos anteriormente para el cemento Portland se aplican a la cal, excepto que la alimentación de piedra caliza es generalmente de una calidad que no requiere el secuestro de volátiles y degradaría la calidad del producto. Para la mayoría de las aplicaciones de piedra caliza, se requiere un mayor grado de calcinación, y para tales aplicaciones se usaría un reactor pequeño, tal como un lecho fluidizado, para reducir la calcinación de alrededor del 93-96 % logrado en la presente invención, al 99 % o más. La cantidad de CO₂ perdida en este proceso es muy pequeña, por lo que pueden usarse reactores de lecho fluidizado convencionales. El producto de cal puede enfriarse en intercambiadores de calor convencionales para precalentar el aire para la combustión.
- 20
- 25 Una persona experta en la materia reconocerá que hay una serie de procesos alternativos para la recuperación de calor de gases de combustión calientes y vapores de productos sólidos que se pueden aplicar para optimizar el rendimiento de los procesos indirectos de calcinación de contraflujo descritos en el presente documento, sin apartarse de la producción de una corriente de escape de CO₂ relativamente pura y separada del calcinador instantáneo como se describe en el presente documento, en contraste con el calcinador instantáneo convencional que mezcla el polvo, el combustible y, en el caso del cemento Portland, el gas de la chimenea del horno rotativo, en un solo reactor de modo que el CO₂ de la calcinación de carbonato se mezcle con los componentes del gas de combustión principalmente nitrógeno, vapor y exceso de oxígeno.
- 30

Otras formas de la invención resultarán evidentes a partir de la descripción y de los dibujos, y a partir de las reivindicaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 35 Las realizaciones de la invención se entenderán mejor y serán fácilmente evidentes para un experto en la materia a partir de la siguiente descripción escrita, solo a modo de ejemplo, y junto con los dibujos, en los que:
- La figura 1 muestra un dibujo esquemático de un proceso para la producción de clínker de cemento Portland y una corriente relativamente pura de CO₂ de acuerdo con un primer modo de realización preferente;
- 40 La figura 2 muestra una vista esquemática en sección transversal de un ejemplo de reactor de calcinación instantánea adecuado para usarse con el primer modo de realización preferente de la presente invención;
- La figura 3 muestra un dibujo esquemático de un proceso para la producción de cal y una corriente de CO₂ relativamente pura;
- La figura 4 muestra un dibujo esquemático de un proceso para la producción de cal a partir de piedra caliza;
- 45 La figura 5 muestra una vista esquemática en sección transversal de un ejemplo de un reactor de calcinación instantánea.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MODOS DE REALIZACIÓN PREFERENTES

La invención requerida para la fabricación de cemento Portland puede describirse considerando el flujo del proceso de la figura 1.

- 50 En este modo de realización, la roca de piedra caliza en bruto 101 se muele y se tritura en una planta de trituración y molienda 102 hasta un polvo 103 con un tamaño de partícula inferior a 100 micrómetros. Esta planta 102 puede ser la misma que se usa en un proceso convencional de cemento Portland.

La corriente de polvo de piedra caliza 103 se procesa en un precalentador indirecto de contraflujo y calcinador instantáneo 104 para producir una corriente de cal caliente 105 y una corriente de CO₂ caliente separada 106.

Esta corriente de CO₂ caliente se enfría en un intercambiador de calor de gas-gas 107 para producir una corriente de gas de CO₂ frío 108, que puede enfriarse y comprimirse adicionalmente, y licuarse si es necesario. Para reducir la huella de carbono de la producción de cemento Portland, esta corriente de gas 108 no se emite.

5 La entrada de aire 109 para enfriar el CO₂ es presurizada por un ventilador 110 y la corriente de aire 111 se calienta en el intercambiador de calor gas-gas para proporcionar una corriente de aire precalentada 112 que se quema con combustible 113 en la cámara de combustión externa y la planta de transferencia de calor 114 para proporcionar la energía para el reactor de precalentamiento y calcinación 104. La corriente de gas de combustión precalentada 115 tiene una energía térmica significativa.

10 Un reactor de precalentamiento y calcinación adecuado es del tipo descrito por Sceats, por ejemplo, en la solicitud de patente PCT publicada n.º WO2012/145802 (incorporada en el presente documento por referencia) que usa vapor para arrastrar las partículas de carbonato al reactor. Una ilustración esquemática de un ejemplo de reactor de calcinación instantánea se ilustra en la figura 2 del presente documento.

15 En un modo de realización, la cantidad de inyección de vapor se minimiza para asegurar que se minimice la demanda de energía de la generación y el precalentamiento del vapor, de modo que el polvo se mueva inicialmente hacia el reactor dominado inicialmente por el flujo gravitacional, con el acoplamiento de partículas de gas cada vez más importante a medida que evoluciona el CO₂.

20 El uso de un bajo contenido de vapor, por ejemplo, una relación de masa de vapor a piedra caliza inferior al 5 % requiere una mayor longitud del calcinador, debido a la reducción de la catálisis de vapor, y aumenta el requisito de la temperatura de escape de la cal calcinada, es decir, mayor que aproximadamente 900 °C, de modo que la presión parcial de CO₂, aproximadamente a presión ambiente, es menor que la presión de equilibrio de CO₂. Esto requiere una temperatura de pared alta del reactor, y esta especificación puede cumplirse, por ejemplo, preferentemente mediante aceros con alto contenido de níquel-cromo o materiales refractarios de alta radiación cerca del escape del reactor en la base. El polvo de piedra caliza se inyecta a baja temperatura, cerca de la temperatura ambiente en este modo de realización, y la parte superior del reactor se usa para precalentar los sólidos. En esta región, las paredes pueden construirse con aceros inoxidable, y el diseño puede ser más típico de los intercambiadores de calor de sólidos y gases.

30 Un experto en la técnica apreciará que el mecanismo de transferencia de calor desde las paredes del reactor al polvo variará por el reactor, desde la conducción, a la convección y a la transferencia de calor radiactivo y una serie de diseños de deflectores dentro del reactor se pueden usar para maximizar la transferencia de calor y minimizar la longitud del reactor. Por ejemplo, tolvas intermedias y válvulas rotativas se pueden usar para contener los sólidos, y los mezcladores se pueden usar para aumentar la turbulencia y romper la aceleración gravitacional. El gas de combustión calentado desde la cámara de combustión exterior y la unidad de transferencia de calor se inyecta en el calcinador precalentador para proporcionar el perfil de temperatura requerido a lo largo de las paredes del calcinador y proporcionar el calentamiento necesario al reactor. El perfil de temperatura preferente es aquel en el que la temperatura se maximiza en el escape del reactor. El contraflujo del gas de calentamiento es tal que el vapor de gas de escape 115 está a una temperatura lo más baja posible en virtud de la transferencia de calor al polvo a través del reactor. El reactor puede estar compuesto por varios segmentos para permitir la transición entre los regímenes de transferencia de calor, y puede comprender varios segmentos descendentes y ascendentes.

40 La arena y otros aditivos 116 se mezclan y muelen en una planta de trituración y molienda 117 hasta obtener un polvo de arena 118, también con un tamaño de partícula también inferior a 100 micrómetros. Esta planta puede ser la misma que se usa para un proceso de cemento Portland convencional.

45 En contraste con el proceso convencional, en este modo de realización, las corrientes de polvo 103 y 118 no se homogenizan en condiciones ambientales. En cambio, las dos corrientes se procesan y precalientan por separado, y se homogenizan a alta temperatura. Se entenderá además que el enfoque preferente para este modo de realización es separar las corrientes de piedra caliza y arena para reducir la carga de calentamiento en el calcinador de precalentamiento 104, para reflejar el hecho de que el calentamiento indirecto conlleva una penalización de eficiencia. El principal beneficio del calentamiento indirecto es que la corriente de CO₂ puro se extrae como la corriente de gas caliente 106, para la recuperación de calor y el secuestro mediante cualquier proceso adecuado, para reducir las emisiones de CO₂.

50 El polvo de arena 118 se precalienta en el intercambiador de calor de gas sólido que comprende la unidad de precalentamiento de sólidos 119 para producir la corriente de arena precalentada 120. El lado de gas del intercambiador de calor proporciona calor desde el gas de combustión caliente 115 del calcinador de precalentamiento 104 y el gas de combustión caliente 121 desde el horno rotativo 130, que se lava sustancialmente de las partículas finas calientes 123 en el ciclón 124 para dar un gas de combustión caliente 125 para inyección en la unidad de intercambiador de calor 126, junto con la corriente de gas de combustión caliente 115. Este diseño de intercambiador de calor puede tener en cuenta la temperatura más alta de la corriente de gas de combustión caliente 125 en comparación con la corriente de gas de combustión caliente 115, por ejemplo, usando menos gas de combustión caliente 115 en una sección de precalentamiento de la

unidad de intercambiador de calor 126. La temperatura del vapor de gas de combustión 127 después de la recuperación de calor debe ser lo más baja posible para reflejar la eficiencia energética del proceso de producción de cemento Portland descrito en el presente documento. Esta corriente de gas generalmente contiene CO₂ de la combustión de las entradas de combustible a la planta.

5 El polvo de cal precalentado 105, el polvo de arena precalentado 120 y las partículas finas calientes 123 se mezclan homogéneamente en el mezclador de polvo 128 para dar una corriente de polvo caliente 129. En el horno rotativo 130, las partículas de cal y arena se fusionan, reaccionan y sinterizan para producir gránulos de clínker de cemento 133. En comparación con el proceso seco convencional para la producción de cemento Portland, el polvo de cal precalentado 105 producido a partir del calcinador de precalentamiento 104 tiene un
10 área de superficie más grande porque el perfil de temperatura monotónicamente creciente de la partícula que fluye a través del reactor minimiza la sinterización. Estas partículas tienen una reactividad más alta, en comparación con la producida por un calcinador instantáneo convencional, y la reacción de sólidos-sólidos en el calcinador se producirá más fácilmente.

15 El horno se enciende por combustión de combustible 131, con una corriente de aire caliente 132. El gas de combustión caliente a aproximadamente 1450 °C hace que la cal, la arena y los aditivos se fusionen, reaccionen y sintericen para producir los silicatos de calcio del cemento Portland. La fusión hace que los materiales se conviertan en gránulos, y esta corriente granular se expulsa del horno rotativo 130 como gránulos de clínker de cemento caliente 133. Los gránulos de clínker caliente 133 se enfrían en el enfriador de clínker 134 para dar la corriente de clínker 136 en el enfriador de clínker 134, que precalienta la corriente de aire forzado 135 a
20 la corriente calentada 132. El clínker enfriado 136 es molido a polvo de cemento 140 en la planta de molienda 139, según el proceso convencional. El ventilador de aire 137 presuriza la corriente de aire de entrada 138.

En una ventaja adicional del modo de realización de ejemplo descrito, un experto en la técnica entenderá que la caída de presión de gas desde el aire de entrada 132 al escape de combustión 127 es menor que la requerida para el proceso convencional en el que el aire tiene que conducir contra las corrientes de sólidos durante
25 aproximadamente seis etapas de mezcla de sólidos y gases y separación de ciclones.

En un modo de realización no ilustrado, la corriente de aire 112 puede contener una corriente de deslizamiento del gas de combustión 121.

30 En otro modo de realización no ilustrado, el polvo de piedra caliza 103 y las corrientes de polvo de arena 118 pueden mezclarse de manera homogénea antes de precalentarse por el gas de combustión del horno 121 e inyectarse en el precalentador y el calcinador 104.

35 Con referencia ahora a la figura 3, de la presente divulgación, la planta trituradora y moledora 300 recibe un polvo mezclado 201 de mezcla cruda con partículas de menos de aproximadamente 100 micrómetros, desde una alimentación 200 de piedra caliza, arena y arcilla. La humedad en el polvo de mezcla cruda 201 se controla utilizando el calor residual de la planta. En un modo de realización, la humedad se elimina usando el calor residual del gas de combustión de la planta depuradora 306.

40 La torre de calcinación comprende un segmento de precalentador 302, un segmento de calcinación 303, un segmento de sólidos-gas 304, una cámara de combustión de calcinación 305 y una planta depuradora 306. En la torre de calcinación, la piedra caliza en la harina cruda 201 se precalienta primero y luego se transforma en cal, con la liberación y separación de CO₂ y cualquier exceso de humedad y agua hidratada de todos los compuestos en la mezcla cruda 201 que se libera como vapor. Las corrientes de salida de proceso de la torre de calcinador son polvo calcinado caliente 205 y una corriente de CO₂ y vapor enfriado 212. Los segmentos 302, 303, 304 de la torre de calcinación descritos en el presente documento son una estructura unitaria y la descripción de segmentos separados tiene fines de claridad.

45 Las descripciones detalladas del segmento de calcinación 303 y el segmento de precalentador 302 se muestran en la figura 3. La depuradora 306 se usa para extraer al menos algunos de los compuestos volátiles del gas de combustión 241 de la planta de horno rotativo 308, y para enfriar el gas de combustión 241 de modo que pueda ventilarse a la atmósfera o capturarse. El horno rotativo 308 usa un vapor de deslizamiento de la mezcla cruda 202, que se calienta y los sólidos calientes se mezclan con la mezcla precalentada primaria 203 para la calcinación. El gas de combustión depurado 242 se usa para eliminar la humedad en la planta trituradora y
50 moledora 300.

La planta de procesamiento de CO₂ 307 toma el CO₂ enfriado y la corriente de vapor 212 y la procesa para extraer el agua y comprimir el CO₂ 213 para el secuestro. La planta comprende enfriadores y compresores, con desagué, para dar un vapor de CO₂ comprimido a aproximadamente 136 bar.

55 La planta del horno comprende un horno rotativo 308 que produce clínker 206, un enfriador de clínker 309 y una cámara de combustión 311. En esta planta, el polvo calcinado 205 se transforma en bolas de clínker 206 de aproximadamente 30 mm de tamaño. Una corriente de clínker enfriada 207 se tritura para producir cemento en polvo 208 en la planta trituradora de cemento 310. Las corrientes del proceso se consideran en detalle a continuación.

La planta trituradora y moledora 300, la planta de horno 308 y la planta trituradora de cemento 310 son equipos de planta estándar asociados con la producción de cemento Portland. Por lo tanto, la planta trituradora y amoladora 300, la planta de horno 308 y la planta trituradora de cemento 310 no cambian con la invención descrita en el presente documento.

5 La descripción presentada a continuación describe el procesamiento en un solo tubo de reactor como se muestra en la figura 2 y la figura 5. Una planta de cemento grande comúnmente emplearía el uso de dicho reactor único para la producción de cemento Portland. En el presente modo de realización, el tubo del reactor puede procesar 240 toneladas por día de mezcla cruda, por lo tanto, una planta de cemento que opere con la máxima eficiencia produciendo aproximadamente 5.000 toneladas de cemento por día tendría una planta de reactor que comprende un mínimo de 32 tubos de reactor en cuatro módulos, cada uno con ocho tubos por módulo.

Ahora se describen las etapas detalladas del proceso que se muestran en la figura 3. Una mezcla cruda 200 que comprende una mezcla de piedra caliza, arena y arcilla se alimenta a la planta trituradora y moledora 400 molida y triturada al polvo de mezcla cruda 201, que es un polvo mezclado 201.

15 El polvo mezclado 201 se procesa en el segmento de precalentamiento 302 y la corriente de salida secundaria de mezcla cruda 202 se procesa en la planta depuradora 306. El segmento de precalentamiento 302 de la planta precalienta el polvo de mezcla cruda 201. El precalentador 302 cumple una serie de funciones; precalentar la mezcla cruda 202 a una corriente de comida precalentada 204, y precalentar una corriente de aire 235 a una corriente de aire precalentada 236 que luego se usa en la cámara de combustión de calcinación. La energía para el precalentamiento de estas corrientes viene para el escape de gas de calentamiento 245 y la corriente de CO₂ caliente 211 desde el calcinador 303 son dirigidas a través del segmento precalentador 302, para producir una corriente de CO₂ enfriado 212 y una corriente de gas de combustión enfriado 246. La corriente de gas de combustión 246 no requiere una cámara de filtros para eliminar el polvo de la mezcla cruda 201 porque el calcinador descrito a continuación no mezcla las corrientes de gas de calentamiento con los vapores de la mezcla cruda. La cantidad de aire inyectado en el precalentador se controla para suministrar gases de combustión enfriados y CO₂ a la temperatura más baja posible para maximizar la eficiencia energética del proceso. La temperatura óptima de la mezcla calentada 203 puede estar en el intervalo de 650 °C a 850 °C, pero lo más preferentemente es de aproximadamente 730 °C, que está por debajo del inicio de la reacción de calcinación. Durante el precalentamiento, la humedad residual en la mezcla cruda forma vapor de mezcla calentado primario sobrecalentado 203, de modo que la corriente 203 es una mezcla de sólidos arrastrados y vapor.

El diseño del precalentador es preferentemente un diseño de flujo cruzado de tubo en placa. Mientras que en el calcinador, la orientación es tal que la corriente de mezcla de sólidos fluye verticalmente hacia abajo por gravedad y la corriente de CO₂ caliente 211 fluye verticalmente hacia arriba. Estas dos corrientes fluyen en múltiples tuberías separadas, generalmente con un diámetro de 10 cm a 20 cm, de modo que se minimiza la acumulación de polvo en los tubos. Se apreciará que pueden usarse otros diámetros o secciones transversales, tales como secciones transversales ovales o sustancialmente redondeadas, para reducir la acumulación de polvo en los tubos. En la entrada de la corriente de CO₂ 211, puede haber microciclones en línea que filtran el polvo en esa corriente y devuelven los sólidos al calcinador 103. Esto asegura que la corriente de escape de CO₂ 212 contenga partículas finas en polvo mínimas. La corriente de aire enfriado 235 y la corriente de escape de gas de calentamiento 245 fluyen en el precalentador a través de un flujo cruzado en conductos entre pares de placas a través de las cuales penetran las tuberías descritas anteriormente. Los conductos de estas corrientes se alternan, de modo que el sistema puede emplear conductos de calentamiento y enfriamiento. El uso de tubo en flujo cruzado de placa emplea comúnmente el uso de dos corrientes para transferir calor, sin embargo, en el presente modo de realización hay cuatro corrientes empleadas para transferir calor. Una de las corrientes es un flujo de polvos arrastrados por el vapor, y la transferencia de calor a esta corriente es notablemente más lenta que la transferencia de calor a las otras corrientes.

A pesar de la transferencia de calor y de la complejidad de los flujos múltiples, el precalentador 302 tiene entradas de calor en un extremo inferior y entradas de frío en un extremo superior, de modo que la transferencia de calor global es la de un sistema de contraflujo. Un sistema de contraflujo como este puede aumentar la eficiencia térmica de la planta. Un experto en la técnica apreciaría que las longitudes de tubo, diámetros, espacios, alturas y anchos de los conductos se pueden elegir para proporcionar las transferencias de calor deseadas para los flujos de masa especificados, y no se limitan al presente modo de realización. Existen correlaciones establecidas para las tasas de transferencia de calor entre cada uno de los flujos de gas y sólidos al precalentador. Los espesores de tubos y placas de metal se seleccionan para proporcionar la resistencia estructural requerida para las temperaturas y gradientes de temperatura establecidos. En otro modo de realización, se pueden usar dos segmentos de precalentador para separar los dos procesos. El precalentador está encerrado en refractario para minimizar la pérdida de calor a través de las paredes.

El segmento de calcinación es donde radica sustancialmente la innovación de esta invención. El calcinador es un reactor de contraflujo calentado indirectamente. Más arriba se describe un reactor de precalentador y calcinación adecuado para la presente invención. Es el calentamiento indirecto que separa el gas de CO₂

generado de la reacción de calcinación de la piedra caliza a la cal del gas de calentamiento que proporciona la energía para la reacción de calcinación.

5 Con referencia ahora a la figura 5, el reactor de calcinación 303, 403 comprende un tubo interno 501 que canaliza el gas de CO₂ caliente desde el separador de gas-sólidos adyacente al ciclón 507 en la base, a través del calcinador hasta la matriz de tubos de calentamiento de sólidos 503 que forman el precalentador. Los tubos tienen una forma de entrada y la alineación que crea un flujo de vórtice del gas CO₂ en el calcinador entre la pared exterior del tubo interior 501 y la pared interior del tubo exterior 502, de manera que el polvo arrastrado en la corriente de CO₂ es expulsado sobre dichas paredes, y el flujo de sólidos se dirige hacia las paredes hacia el separador ciclónico 507. Los polvos se introducen en un anillo limitado por el tubo interior 501 y un tubo exterior 502. El tubo exterior 502 puede fabricarse a partir de, por ejemplo, un metal, una aleación metálica o una cerámica, o una combinación de los mismos.

15 La corriente de polvo comprende vapor para formar un flujo arrastrado que ingresa al reactor de calcinación 303, 403 en los tubos de calentamiento de sólidos 503 desde el precalentador 302, 402. La forma de las tuberías en la entrada al reactor 303, 403 está conformada y dispuesta para impartir un movimiento helicoidal a la corriente en el reactor 303, 403. Este movimiento helicoidal se potencia aún más mediante generadores helicoidales 504, en forma de un deflector 504, en la base de este anillo para la corriente calcinada. La reacción de calcinación tiene lugar en este anillo, con el suministro de calor desde la pared externa del tubo 501 y la pared interna del tubo 502. El gas de calentamiento 509 fluye a través de al menos un anillo formado entre un refractario 505 y la pared exterior del tubo exterior 502 del reactor. El gas de calentamiento se introduce en el calcinador desde la cámara de combustión a través de una pluralidad de puertos de inyector de calor 506 dispuestos desde la base, con preferentemente dos puertos de inyector 506 en cada etapa desplazados 180 °C. Los puertos de inyector 506 están configurados de manera que se aplica calor a aproximadamente del 30 % al 50 % del tubo desde la porción inferior del reactor 500. Esto permite que el calor accione la calcinación de la piedra caliza y eleve la temperatura hasta entre 800 °C y 1000 °C, pero preferentemente en el rango de 900-920 °C en los puertos de escape 509. El escape desde el segmento calcinador comprende mezcla calcinada y CO₂ y vapor a la temperatura preferente. El CO₂ producido en el anillo del reactor se usa para accionar el flujo helicoidal en el(los) puerto(s) de escape 509. El gas de calentamiento se dirige a aplicar un calor sustancialmente uniforme al tubo exterior 502 para evitar puntos calientes.

30 Un experto en la técnica apreciaría que el tubo exterior 502 está sometido a una tensión térmica considerable. Como tal, el tubo exterior 502 requiere una alta capacidad térmica y puede fabricarse a partir de, por ejemplo, una aleación de níquel-cromo, o material refractario de alta radiación, o cualquier otro material adecuado para entornos de alta temperatura cerca de los puertos de escape 509 del reactor 500. En algunas realizaciones, el tubo exterior 502 tiene al menos una de las siguientes propiedades; una alta resistencia a la corrosión, baja expansión térmica, resistencia a la expansión o cualquier otra propiedad deseable para un entorno altamente volátil. El calentamiento de los reactivos se produce a partir de uno o ambos flujos de calor radiactivo y/o convectivo. El separador de polvo de gas es un sistema ciclónico 507 en el que la mezcla calcinada se separa por fuerzas centrífugas y gravitacionales contra la pared del ciclón 507, de modo que el gas forma un vórtice de contraflujo que se eleva hacia arriba en el tubo interior 501. En el presente modo de realización, el gas que fluye hacia arriba a través del tubo interior es la corriente de CO₂ 508 y fluye hacia los tubos de enfriamiento de CO₂ 510. El polvo calcinado 511 se acumula en la base del separador ciclónico 507 y es expulsado por una válvula rotativa o tornillo. En al menos un modo de realización, el gas de calentamiento 509 puede reciclarse mediante el proceso para mejorar la eficiencia.

45 Volviendo a la figura 3, las corrientes de polvo inyectadas en el calcinador son las corrientes precalentadas 203 y 209. A diferencia de las plantas convencionales, los vapores 203, 209 pueden procesarse en tubos de reactor de calcinación separados. La temperatura de estas corrientes puede ser de alrededor de 800 °C o menos, o más particularmente de 730 °C o menos, de modo que la corriente de mezcla calentada primaria 203 contiene vapor del exceso de humedad. La piedra caliza en el polvo se calcina en cal 204 y dióxido de carbono 211 en el reactor y la temperatura de escape en la corriente 204 está en el rango de aproximadamente 900-930 °C. El gas de calentamiento 244 desde la cámara de combustión está en el rango de aproximadamente 1500-1700 °C y se distribuye a lo largo del reactor de tal manera que la distribución de temperatura de la pared (en la pared del tubo exterior 502) está dentro del rango operativo de metales y/o cerámica cuando está bajo carga de la absorción de calor para la reacción. El escape del gas de calentamiento 245 está preferentemente en el intervalo de aproximadamente 950 °C a 1000 °C.

55 Haciendo referencia a la figura 3, la corriente de CO₂ caliente 210 desde el separador de partículas de gas 304 entra en el reactor calcinador 303 en la base y se eleva a través del reactor 303 en el tubo central que se ha descrito anteriormente. La corriente de CO₂ 210 pierde una porción de calor en al menos una de las corrientes de sólidos 203, 209 y se descarga en la porción superior de la corriente de gas de CO₂ 211 del reactor en la matriz de tubos para enfriar en el segmento del precalentador 102. Esto proporciona un proceso en el que no hay mezcla de la corriente de gas de CO₂ de combustión de calcinación 210 con la corriente de gas de calentamiento 245, de modo que no hay necesidad de procesos de captura de carbono. El polvo calcinado y la corriente de gas 204 se separan en la corriente de gas de CO₂ 210 y el polvo calcinado caliente se descarga en el horno rotativo 308 desde el separador de partículas de gas 304 como corriente 205.

El proceso de la planta de horno rotativo 308 es similar al utilizado en las plantas de cemento convencionales. El polvo calcinado se inyecta en el horno rotativo 308 donde se calienta a entre 1300 y 1600 °C, generalmente el polvo se calienta a aproximadamente 1450 °C. La vitrificación de la sílice es tal que se produce la agregación de partículas y las bolas de material se forman y aglomeran a medida que avanza la reacción. La energía para que el calentamiento forme el clínker 306 se deriva desde la cámara de combustión del horno 311 que produce un gas de calentamiento 240. Las reacciones del clínker son exotérmicas, y solo se requiere energía adicional para elevar la temperatura a aproximadamente 1450 °C. El gas de escape 241 del horno rotativo 308 es de aproximadamente 1000 °C. El clínker 206 se expulsa del horno rotativo 308 a aproximadamente 1400 °C, y se enfría en el enfriador de clínker 309 por la corriente de aire 230 para dar una corriente de clínker enfriado 207 que se tritura en polvo de cemento 208 en la planta trituradora de cemento. Alternativamente, el clínker enfriado 207 puede almacenarse antes de ser molido en polvo de cemento 208.

Los procesos descritos anteriormente se pueden usar para aumentar la eficiencia energética. Hay muchas formas de organizar los flujos del proceso para proporcionar dicha eficiencia, y la que se describe a continuación es un modo de realización preferente. La corriente de aire 230 se usa para enfriar el clínker 306, y el aire calentado se divide en una corriente de aire secundaria 231 que se usa, con la corriente de aire primaria 233 para quemar el combustible 222 en la cámara de combustión del horno 311. La corriente de aire primaria 233 es una corriente de aire frío que transporta el combustible 222, generalmente un sólido, al interior de la cámara de combustión 311. Para una planta de cemento de bajas emisiones, este combustible 222 es en gran parte una biomasa o desecho de manera que las emisiones de carbono se minimizan o eliminan de esta parte del proceso. La corriente de aire terciario 232 se usa en la cámara de combustión de calcinación 305, 405. Se mezcla con el aire precalentado 236 del precalentador y se quema en la cámara de combustión de calcinación 305, 405, junto con una corriente de aire primaria 234, con el combustible 220 para producir la corriente de gas de calentamiento 244. Este ciclo de recuperación es casi idéntico al de la planta convencional. En al menos un modo de realización, del 60 % al 70 % del combustible se quema en la cámara de combustión de calcinación 305, 405, y el combustible restante se quema en la cámara de combustión del horno 311. Una diferencia sustancial con respecto al proceso convencional es que la corriente de aire 236 ha reemplazado el CO₂ en el escape de gas de combustión, de modo que la cámara de combustión del horno 311 puede funcionar con un exceso de aire adicional para reducir las emisiones de monóxido de carbono con un impacto insignificante en la eficiencia de la planta.

La corriente de gas caliente 241 del escape del horno rotativo 308 puede contener un gran volumen de impurezas volátiles, que pueden ser reactivas y condensarse en las superficies y crear bloqueos en el equipo. En este modo de realización, la corriente de gas caliente se trata mediante la corriente de deslizamiento de los sólidos 202 en una depuradora de ciclones en suspensión 306. El flujo másico de 241 y 202 es tal que la temperatura de escape de la mezcla de la depuradora 306 es de aproximadamente 500 °C. A esta temperatura, varias impurezas en el gas reaccionan con la mezcla para formar compuestos sólidos. Estos se secuestran en la mezcla calentada 209, que se inyecta en el reactor de calcinación 303, 403. El gas de combustión depurado 242 se dirige a la planta trituradora y moledora 300 y se usa para eliminar la humedad de la mezcla cruda, particularmente en los molinos. La planta trituradora y moledora 300 también puede filtrar el gas de combustión 242 antes de liberarlo a la atmósfera como corriente filtrada 243. La corriente filtrada 243 es segura para liberar a la atmósfera, ya que la mayoría de las partículas finas en polvo del cemento se han eliminado antes de la liberación.

En un modo de realización adicional, un experto en la técnica entenderá que la caída de presión de gas desde el aire de entrada 122 al escape de combustión 120 es menor que la requerida para el proceso convencional en el que el aire tiene que conducir contra las corrientes de sólidos durante aproximadamente seis etapas de mezcla de sólidos y gases y separación de ciclones. Esto significa que el consumo de energía de los ventiladores utilizados para inyectar el aire (no mostrados) y/o tirar del combustible a través de la planta se reduce significativamente.

La figura 4 muestra un ejemplo de realización del flujo del proceso para la producción de cal. Por conveniencia, se usa la misma numeración de los procesos usados para el modo de realización del cemento Portland. En este caso, la mezcla cruda 200 es piedra caliza pura y el producto refrigerado 208 es cal. Las plantas de horno rotativo y molino de clínker son reemplazadas por un enfriador de sólidos 408. En el presente modo de realización, la depuradora se ha eliminado debido a la alta pureza de la piedra caliza utilizada en el proceso y a las mezclas volátiles insignificantes. El carbono se captura en un proceso similar al descrito para la figura 3 en el que la corriente de CO₂ enfriada 412 se alimenta a la planta de procesamiento de CO₂ 407. La planta de procesamiento 407 separa y comprime el CO₂ 213 del agua 214. La planta trituradora y moledora 400 también puede filtrar el gas de combustión 242 antes de liberarlo a la atmósfera como corriente filtrada 243. La corriente filtrada 243 es segura para liberar a la atmósfera, ya que la mayoría de las partículas finas en polvo del cemento se han eliminado antes de la liberación.

En el caso de la cal 205, la cal 205 se enfría por aire 230 en el refrigerador de sólidos 408 para dar una corriente de aire precalentada 232 para la cámara de combustión de calcinación 405. El enfriador de sólidos 408 se puede adaptar para usar el tubo de enfriamiento 510 y el sistema de flujo cruzado de placa como se describió anteriormente para el precalentador 402. Por lo tanto, la cal caliente se puede alimentar a una serie de tuberías,

y un gas, tal como aire, se puede alimentar a la porción inferior del refrigerador, donde se eleva a través de un flujo cruzado de una matriz de conductos para que el aire se caliente en cada conducto horizontal, y luego se dirija al siguiente conducto superior y así sucesivamente. Este es un sistema eficiente de contraflujo que puede suministrar un polvo frío y una corriente de aire caliente. El uso de calentamiento indirecto reduce la exposición de la cal al aire, y el producto se puede envasar en recipientes adecuados para su almacenamiento.

5

En esta memoria descriptiva, la palabra "que comprende" debe entenderse en su sentido "abierto", es decir, en el sentido de "incluir" y, por lo tanto, no limitado a su sentido "cerrado", es decir, el sentido de "consistir solamente en". Se debe atribuir un significado correspondiente a las palabras correspondientes "comprender", "comprendido" y "que comprende" donde aparecen.

10

Aunque se han descrito realizaciones particulares de la presente invención, será evidente para los expertos en la técnica que la presente invención puede realizarse en otras formas específicas sin apartarse de las características esenciales de la misma. Por lo tanto, los presentes modos de realización y ejemplos deben considerarse en todos los aspectos como ilustrativos y no restrictivos, indicando el alcance de la invención mediante las reivindicaciones adjuntas en lugar de la descripción anterior. Se entenderá además que cualquier

15

referencia en el presente documento a la técnica anterior conocida no constituye, a menos que aparezca la indicación contraria, una admisión de que dicha técnica anterior es comúnmente conocida por los expertos en la materia a la que se refiere la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para producir clínker de cemento Portland a partir de al menos piedra caliza triturada y arena y arcilla trituradas, que incluye las etapas de:
 - a. mezclar la piedra caliza, la arena y la arcilla para formar un polvo mezclado (201);
 - 5 b. calcinar el polvo mezclado (201) en un reactor de calcinación (303), en el que el reactor de calcinación (303) está adaptado para aplicar calor indirecto generado por la combustión de una primera entrada de combustible para producir un polvo mezclado precalentado, y en el que el reactor de calcinación genera una primera corriente de gas de dióxido de carbono a partir de la calcinación de piedra caliza, y una segunda corriente de gas separada de la combustión de la primera entrada de combustible;
 - 10 c. introducir el polvo mezclado en un horno (308) usando calentamiento directo para producir clínker de cemento Portland (206), donde el horno (308) es alimentado por la combustión de una segunda entrada de combustible (222) mezclada con aire (231) que se precalienta mediante clínker de cemento Portland caliente (206) que sale del horno.
- 15 2. El proceso de la reivindicación 1, en el que el polvo mezclado (201) se precalienta antes de calcinar el polvo mezclado (201).
3. El proceso de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la primera corriente de gas (211) se enfría, comprime y almacena.
4. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera entrada de combustible es un gas (220) mezclado con aire (236), en el que el aire se ha precalentado por intercambio de calor enfriando la primera corriente de gas (211).
- 20 5. El proceso de la reivindicación 4, en el que la primera entrada de combustible incluye una corriente de deslizamiento de la corriente de gas de escape del horno, que tiene suficiente aire en exceso para proporcionar una combustión completa de ese combustible.
- 25 6. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la definición de arena incluye arena y aditivos de fraguado.
7. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el calcinador (303) es un calcinador instantáneo.

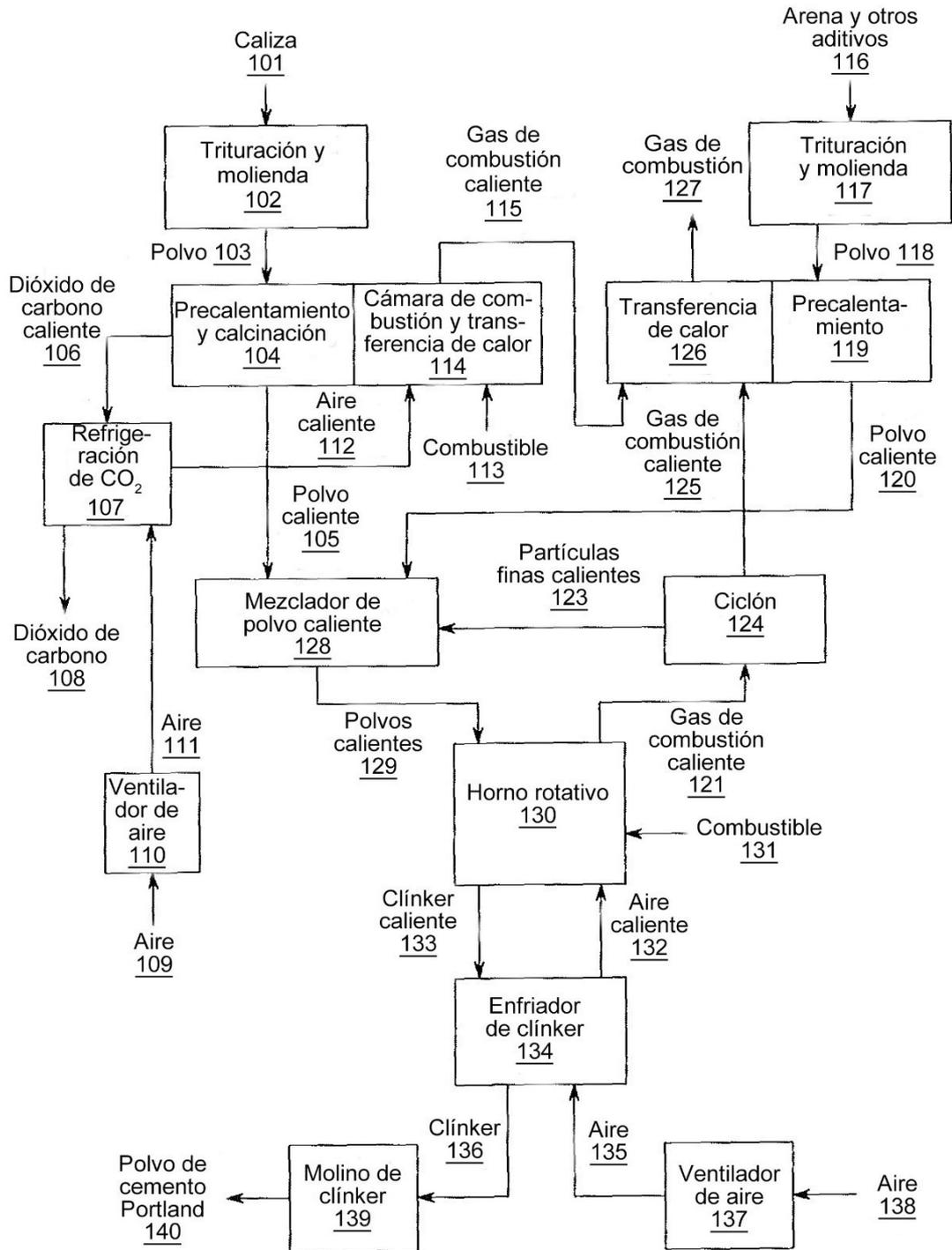


FIG. 1

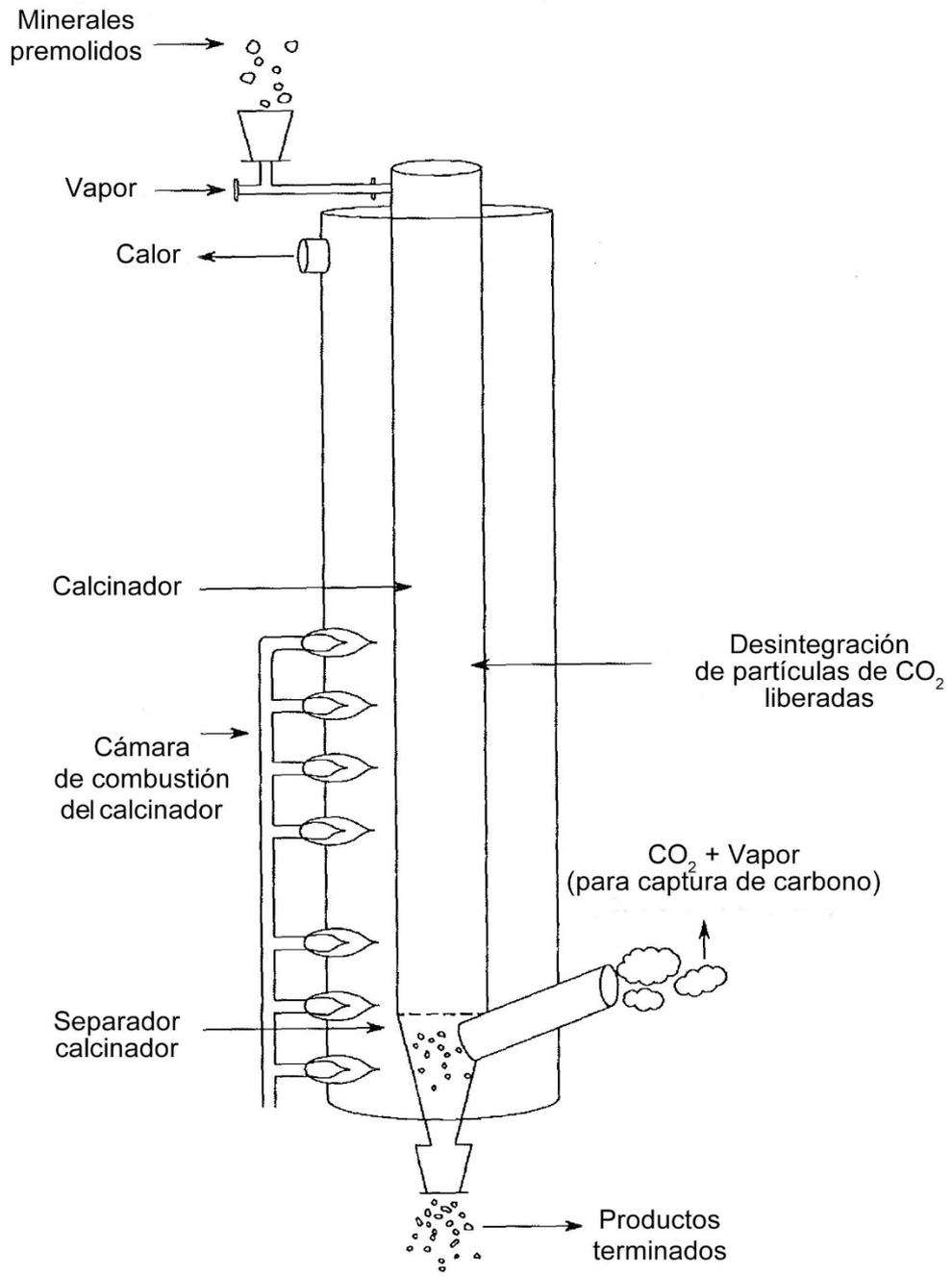


FIG. 2

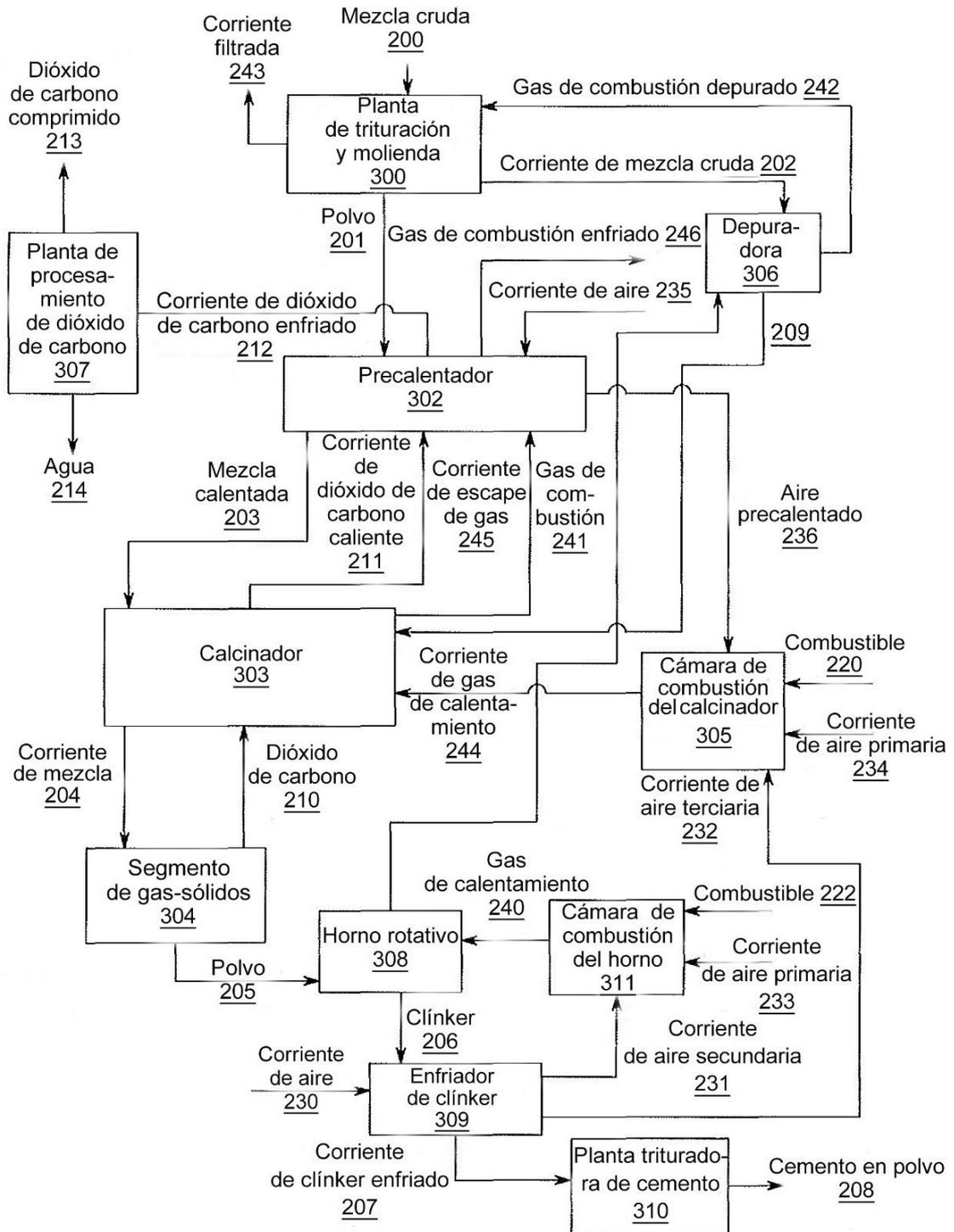


FIG. 3

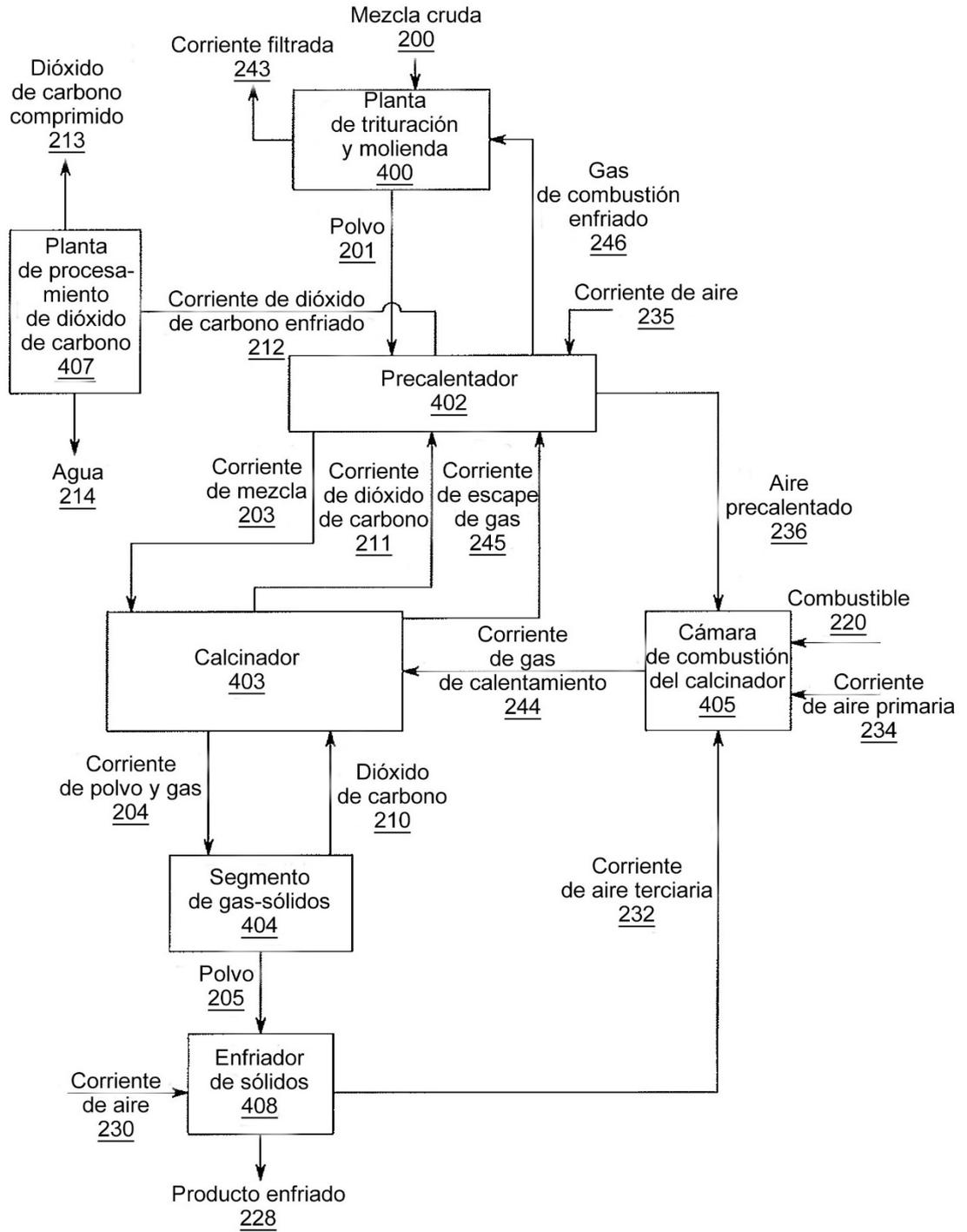


FIG. 4

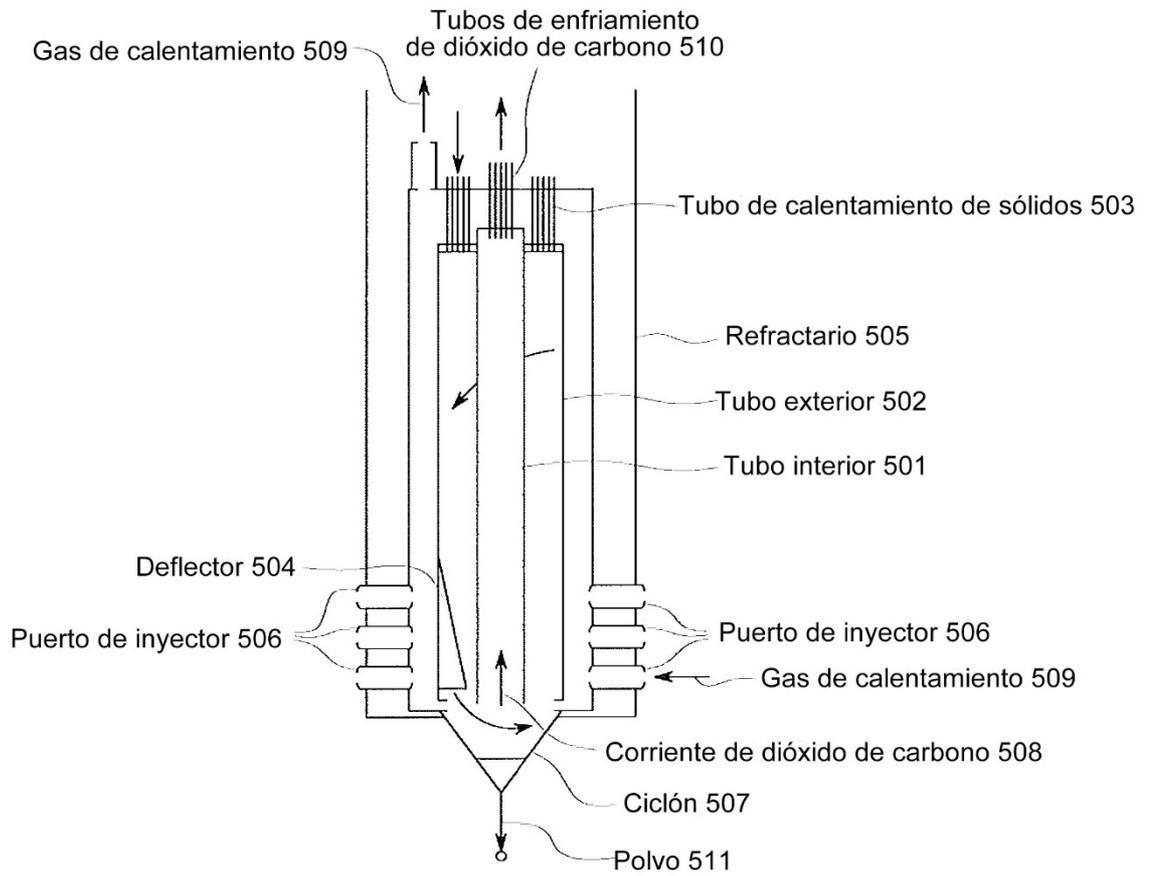


FIG. 5