

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 812 673**

21 Número de solicitud: 201900133

51 Int. Cl.:

**C04B 7/47** (2006.01)

**F27D 17/00** (2006.01)

12

## PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**26.12.2018**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**17.03.2021**

Fecha de concesión:

**10.09.2021**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**17.09.2021**

73 Titular/es:

**COGCEM PROYECTOS S.L. (100.0%)**

**Carretera Pampanico nº 88**

**04700 El Ejido (Almería) ES**

72 Inventor/es:

**LIROLA MALDONADO, Francisco Javier**

74 Agente/Representante:

**BARTRINA DÍAZ, José María**

54 Título: **Sistema de integración de calderas de biomasa en procesos de fabricación de clínker de cemento**

57 Resumen:

Se trata de integrar de un modo diferente las corrientes de gases de una planta de generación de energía eléctrica, utilizando una caldera de biomasa, con las corrientes de gases de las instalaciones de una planta de fabricación de clínker de cemento, para aprovechar todas las sinergias posibles entre los dos tipos de instalaciones, de tal forma que se minimice el coste de inversión al poder aprovechar instalaciones comunes a ambos procesos, fundamentalmente relacionadas con la depuración de gases de combustión, y se aumente el rendimiento de la instalación de generación de energía eléctrica.

La disposición de la integración es tal que permite, en ocasiones, la marcha independiente de ambos procesos, aunque sin el aumento en el rendimiento de la generación de energía eléctrica.

Se obtiene, por un lado, un menor coste de inversión, y por otro lado un menor coste de operación.

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.  
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 812 673 B2

## DESCRIPCIÓN

Sistema de integración de calderas de biomasa en procesos de fabricación de clínker de cemento

5 El objeto de la presente **Patente de Invención** es tratar de integrar en las actuales plantas de fabricación de clínker de cemento o en otras de nueva construcción, una planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa (u otros residuos combustibles). Se trata de aprovechar de un modo adecuado las corrientes calientes de gases del proceso cementero y  
10 de la caldera de biomasa para mejorar los rendimientos de ambos procesos, aprovechando las sinergias que se derivan de su integración, no sólo por el aprovechamiento de las corrientes de gases calientes, sino por la capacidad de secado de combustibles húmedos o el uso de los sistemas de depuración de gases propios de las instalaciones de fabricación de clínker de cemento, sistemas de depuración que no serían necesarios para la planta de cogeneración si  
15 se integran las calderas dentro de la planta de fabricación de cemento.

El modelo que se propone no supone una limitación para la producción de clínker en los hornos de las plantas fabricación de clínker de cemento, sino que es una forma de optimizar los procesos añadiendo la generación de energía eléctrica. Adicionalmente, el modelo logra  
20 aumentar el uso de combustibles derivados de biomasa, por lo que se está en condiciones de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de ambos procesos.

Se trata por tanto de un método para modificar algunas de las actuales instalaciones de fabricación de clínker de cemento (en otras este proceso de integración quizás no fuera posible por la falta de espacio), así como para definir los diseños de las futuras plantas de fabricación de clínker de cemento que se construirán en los países en vías de desarrollo, para de este modo, no sólo producir clínker para hacer cemento, sino también poder utilizar biomasa y otros  
25 residuos en los procesos de combustión, evitando las emisiones de CO<sub>2</sub> fósil mediante el uso de residuos agrícolas muy abundantes en todos los países, sobre todo en los países en vías de desarrollo, así como también para generar energía eléctrica de un modo efectivo, desde un  
30 punto de vista económico, ecológico y social, reduciendo considerablemente los costes de inversión respecto de la realización de ambas plantas por separado.

Este diseño se puede complementar con otras fuentes de aprovechamientos energéticos y  
35 sistemas de depuración para mejorar rendimientos y reducir emisiones ambientales.

### Antecedentes de la invención

Las fábricas de cemento son Instalaciones de reconocida solvencia, con una tecnología en  
40 constante evolución, sobre todo a partir de mediados del siglo XX, enfocada básicamente a los problemas derivados de la producción de clínker de cemento, elemento considerado estratégico sobre todo en países en vías de desarrollo, pero también para los países desarrollados, por cuanto las estructuras de hormigón construidas no tienen una vida Infinita y será necesario reformarlas.

45 En los últimos años, a nivel europeo, las fábricas Integrales de producción de cemento se han adaptado para reducir costes, principalmente utilizando combustibles alternativos derivados de residuos. Esta adaptación ha sido posible gracias a las condiciones innatas del proceso cementero: altas temperaturas y tiempos de residencia, atmósfera oxidante, medio alcalino; así  
50 como a un Intenso programa de Inversión para adaptar Instalaciones y procesos. No obstante, la crisis económica ha venido a golpear duramente al sector, sobre todo en Europa, donde el nivel de Infraestructuras construidas es elevado, por lo que las ventas de cemento han caído

considerablemente, no siendo necesarias muchas de las plantas instaladas. El aumento de los costes de la energía eléctrica y de los combustibles y sobre todo, el cambio en el marco de la regulación de la asignación de los derechos de emisión, para intentar combatir los efectos del cambio climático, avocan al cierre de muchas plantas Integrales de cemento, las cuales se

- 5 Instalarán en países en vías de desarrollo, en los cuales la legislación no sea tan estricta como en Europa, y donde los volúmenes de venta y precio del cemento, prevén fuertes beneficios económicos para las empresas, las cuales, han comenzado una estrategia para desinvertir en Europa, y trasladar su producción a terceros países.
- 10 La destrucción del tejido productivo, debido a estos tres factores conjugados; Aumento de precios de los combustibles y energía eléctrica, aumento de precio por la emisión de gases de efecto Invernadero, caída del volumen de venta de cemento; parecen abocar al sector, al cierre definitivo de sus Instalaciones en Europa.
- 15 Al mismo tiempo, debido a la presión social y de las administraciones, con la aplicación de leyes más rigurosas de control ambiental, las fábricas han debido realizar fuertes inversiones para controlar sus emisiones: partículas canalizadas (filtros de mangas), SO<sub>2</sub> (spray dryer), NO<sub>x</sub> (SCNR), partículas fugitivas (naves, pantallas cortavientos, cierre de cintas,...), equipos de medición en continuo. La preocupación por estos temas relacionados con la salud y el
- 20 bienestar, no pueden reducir el nivel de exigencia que las Administraciones deben de exigir a la industria, sino que seguramente en los próximos años estas exigencias aumentarán.

- Por otro lado, las características inherentes al proceso de fabricación de cemento que requiere el manejo de materiales pulverulentos, y las críticas de los grupos ecologistas contra los
- 25 procesos de valorización de residuos, hacen que las fábricas de cemento sean mal percibidas entre muchos sectores de la población, afectados de una forma u otra por el funcionamiento de estas instalaciones. Sobre todo, de aquellas que no han adaptado sus activos a las nuevas necesidades sociales debido a la falta de rentabilidad, que supuso en los últimos años, una caída importante en el nivel de inversión que era preciso realizar para el mantenimiento
  - 30 adecuado de instalaciones, procesos, equipos y capital humano.

A pesar de todo, la sociedad moderna plantea retos adicionales a las industrias:

- Reducción significativa de la emisión de gases de efecto invernadero para luchar contra el cambio climático,
- 35 - Mejora en los sistemas de tratamiento de gases contaminantes, a través de sistemas transparentes, debidamente explicados a la ciudadanía,
- Modificación del modelo energético: Aumento en la producción de energía eléctrica para dar servicio al cambio tecnológico que supondrá el paso del motor de combustión al motor eléctrico del parque automovilístico,
- 40 - Procesos para la gestión de residuos generados,
- Seguridad y fiabilidad de los sistemas de producción,
- Preservación de recursos a través de políticas de reciclaje,
- Y también, producción de cemento para la fabricación de hormigón necesario para el mantenimiento y mejora de viviendas e infraestructuras.

- 45 La industria cementera cuenta con una gran implantación en todo el mundo. Así, mientras que en los países desarrollados que ya no necesitan tanto cemento se produce el cierre de instalaciones, estos mismos países demandan más energía eléctrica y producen más residuos, por lo que se necesitan sistemas para la producción de dicha energía eléctrica y se debe
- 50 invertir en instalaciones para la gestión adecuada de residuos. Por otro lado, en el resto del mundo, muchos países en vía de desarrollo necesitan la urbanización de sus ciudades, demandando gran cantidad de cemento, lo que obliga a tener unas fábricas en las que se

produzca este elemento de construcción de una forma diferente a la que era admisible hasta la fecha, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, y de otros contaminantes ambientales para evitar el cambio climático y la contaminación del planeta.

- 5 Todas las máquinas e instalaciones recogidas en esta patente de invención ya han sido inventadas y existen diferentes instalaciones que las utilizan. Lo que se propone es un modelo de integración diferente al desarrollado por la industria.

### Descripción de la invención

10 La idea se basa en aprovechar las distintas corrientes de gases calientes de ambos procesos de una forma eficiente, enriqueciéndolo con oxígeno de alta pureza (utilización de equipos de separación  $N_2/O_2$ ), inyectando combustible o realizando intercambios de calor para poder elevar la temperatura de las corrientes y ajustarlas a las necesidades de cada fase del proceso  
15 de fabricación de clinker o de generación de energía eléctrica. No obstante, se ha intentado independizar los dos procesos para que puedan llegar incluso a funcionar de forma independiente según las circunstancias de cada momento.

20 En primer lugar se debe indicar que, para el proceso de producción de clinker de cemento lo ideal sería contar con una instalación de última generación con 5 o 6 etapas de intercambio, un horno corto, un precalcinador, un bypass de cloro y el resto de las instalaciones habituales propias de los procesos de fabricación de clinker de cemento, pero la ventaja de este proceso es que realmente se puede usar cualquier configuración de horno siempre que se cuente con un enfriador de parrilla

25 En el caso ideal: Los precalcinadores pueden proporcionar hasta el 60% del calor necesario para la producción de clinker (factor variable), calor que se aporta muy próximo a la torre de intercambio de ciclones y que se emplea principalmente para el proceso de deshumidificación y descarbonatación de la materia prima. Estos precalcinadores permiten el uso de combustibles alternos derivados de residuos y mejoran la estabilidad de los procesos. El 40% del calor  
30 restante se aporta mediante el tradicional quemador de combustibles aplicado a hornos rotatorios destinándose esta energía principalmente al incremento de temperatura necesario para producir la reacción de clinkerización (exotérmica). Para estas dos combustiones se emplea aire caliente procedente del enfriador de clinker denominado aire secundario  
35 (empleado para la combustión del combustible introducido a través del quemador del horno rotatorio) y aire terciario (empleado en el precalcinador). En todos los procesos de enfriamiento de clinker, del total del aire aportado para este enfriamiento, siempre se produce un aire sobrante que debe ser filtrado para eliminar el polvo de clinker en suspensión que arrastra, antes de ser expulsado al medio ambiente.

40 La propuesta consiste en utilizar esa corriente de aire caliente que sobra del proceso de enfriamiento de clinker realizado en el enfriador para proceder a la generación de energía eléctrica en una caldera apropiada, para posteriormente proceder al secado de la biomasa o de cualquier otro combustible húmedo, que será utilizada como combustible en la caldera o el  
45 horno de clinker (si fuera necesario se podría inyectar algún tipo de combustible noble (biogás o gas natural) para compensar las necesidades de calor).

Para la **producción de energía eléctrica** se usa el aire sobrante que puede alcanzar una temperatura en torno a los 450°C. La cantidad de aire a enviar a la caldera debería ser la más  
50 alta posible, restando la mínima imprescindible que se debe reservar para el proceso de clinkerización (aires secundarios y terciarios), por lo que pudiera ser interesante mezclar el aire de refrigeración con oxígeno de alta pureza (88%), hasta alcanzar una mezcla de oxígeno en el

aire del 30%, con el objetivo de tener más oxígeno disponible también en el horno y poder enviar más cantidad de aire caliente, lo más enriquecido en oxígeno que sea posible, a la caldera para aumentar la energía eléctrica producida. La caldera debería ser preferentemente, de lecho fluidizado o de cualquier otra tecnología que resulte eficiente para la combustión de biomasa, o de otros combustibles que pudieran estar disponibles, con el objetivo de generar la temperatura suficiente para recalentar el vapor que movería una turbina de vapor para la generación de energía eléctrica. El proceso de generación de energía eléctrica está basado en un ciclo Rankine con turbina de vapor por tratarse de un esquema sencillo y robusto, pero es posible pensar en otros modelos y procesos de generación de Energía Eléctrica más eficientes. Las cenizas de la caldera pueden ser utilizadas como adición para el cemento o bien mezcladas con el crudo para volver a ser calcinadas, en función de las propiedades de las cenizas.

Para la posterior **operación de secado**, además del quemador para la inyección del combustible, se prevé el uso de un trómel giratorio, un sistema de secado mediante ciclones, o cualquier otro sistema de secado de sólidos de suficiente eficiencia. Gracias a este proceso, tendremos un combustible abundante, al que le hemos quitado gran parte de la humedad, por lo que su Poder Calorífico Inferior (en base húmeda), sería considerablemente mayor.

Los gases húmedos y a menor temperatura que salen del secadero, con los contaminantes del proceso de combustión de la caldera y las partículas sólidas con clínker, cenizas o biomasa que pudieran arrastrar, se utilizarán para el **enfriamiento de los gases calientes del bypass** de eliminación de cloro, instalación que suele ser necesaria para el buen funcionamiento del proceso cementero, sobre todo en aquellas instalaciones que consumen gran cantidad de combustibles derivados de residuos o cuyas materias primas contienen contenidos elevados de este elemento.

Este proceso de quenching presenta dos ventajas, por un lado se está usando una corriente fría cargada de contaminantes para enfriar los gases de bypass, pero por otro lado, gracias a la unión del gas frío con la corriente del bypass cargado de crudo, estamos posibilitando la depuración de los gases de la caldera haciéndolo pasar por un gas cargado con partículas con gran capacidad de captación de elementos contaminantes como es el crudo de los procesos cementeros, y todo ello empleando un solo filtro (preferentemente de mangas) para la depuración posterior de partículas. Si fuera preciso aumentar la cantidad de crudo para la captación de gases contaminantes, se piensa que podría ser adecuado el uso del crudo captado en el filtro de salida de los gases del horno de clínker (CKD = Clinker Kiln Dust).

Este bypass es necesario instalarlo para reducir el contenido en cloro del previsible fenómeno de recirculación de cloro, que eleva los niveles de cloro llevando a la formación de pegaduras y a la parada del proceso industrial de fabricación de clínker, sobre todo cuando las entradas de cloro son muy cuantiosas procedentes de la materia prima o de los combustibles, lo cual es previsible en sistemas de producción en los que se emplean un mayor contenido de combustibles derivados de residuos.

El proceso Rankine con vapor sobrecalentado de generación de Energía Eléctrica es un sistema habitualmente instalado, consistente en una bomba que eleva la presión de agua, unos conductos que llevan el agua a presión a recuperadores, economizadores y otros tipos de intercambiadores de calor para aumentar la temperatura del agua, la cual se eleva de forma definitiva en la propia caldera de biomasa hasta valores de temperatura y presión que la convierten en vapor recalentado. Este vapor recalentado mueve a una turbina que genera la energía eléctrica, expandiéndose y enfriándose a valores menores hasta llegar al condensador

en el que se refrigera con agua y aire frío para pasar de nuevo el agua a las condiciones iniciales de la bomba que elevaba la presión, cerrándose de esta forma el ciclo.

5 Como se ha comentado con anterioridad, otra corriente de gases del proceso cementero aprovechable en el proceso de generación de energía eléctrica, además del ya mencionado del uso del aire cuaternario en la caldera de biomasa, es el empleo de gases calientes de salida de chimenea del sistema horno-molino de crudo, gases limpios ya filtrados y depurados que salen por la chimenea a una temperatura superior a 170°C. Estos gases podrían ser incluso  
10 recalentados mediante el intercambio adecuado de calor con otras corrientes del proceso. La función de esos gases calientes sería para ayudar a elevar la temperatura del circuito cerrado de vapor, reduciendo la cantidad de biomasa que es preciso inyectar en la caldera para conseguir el grado de calentamiento necesario para producir la Energía Eléctrica prevista. La fracción de estos gases de chimenea utilizados en la caldera pueden ser enviados a la  
15 atmósfera sin problema ya que no han sufrido ningún tipo de mezcla posterior que los pudiera contaminar. Hay que valorar si este uso resulta económicamente rentable.

Como se puede observar en el croquis adjunto, todos los gases de combustión de la salida de la caldera se aprovechan y se depuran en el proceso de fabricación de clínker de cemento bien a través del quenching / filtro del bypass bien directamente en la torre de acondicionamiento de  
20 gases / filtro del sistema horno - molino de crudo, por lo que se reduce la necesidad de inversiones adicionales para la construcción de sistemas depuración de gases de combustión, distintos a los ya existentes en una planta de cemento.

En todo este proceso descrito, existe un inconveniente que hay que considerar, y esto es el polvo del bypass los cuales deben ser procesados de algún modo para buscarles un destino final. Una opción puede ser como base para suelos de hormigón o mezclado con otros  
25 elementos poder producir un tecnosuelo que pudiera ser utilizado en restauración de canteras.

### Breve descripción de los dibujos

30 Para la mejor comprensión de cuanto se ha descrito en la presente memoria, se acompañan unos dibujos en los que, tan sólo a título de ejemplo, se representa el concepto básico de funcionamiento y disposición del proceso, así como de los distintos elementos auxiliares que podrían añadirse para la optimización de este.

35 En la **figura 1** se representa un **precalcinador ensamblado a la torre de intercambio y al horno de clínker** habituales de los procesos de producción de clínker de cemento vía seca con cinco etapas. Existen numerosas modificaciones a este diseño básico, pero en esencia se trata de una cámara de combustión en la que se mezcla aire con el combustible para poder calcinar el crudo que baja en contracorriente, saliendo posteriormente los gases hacia los ciclones en los que se prosigue el calentamiento de la mezcla de material calizo previamente molido al  
40 contacto con la corriente de gases calentados en el horno y el precalcinador.

En la **figura 2** se representa un **circuito Rankine T/S con recalentamiento para generación de energía eléctrica**. En el dibujo, los diferentes tramos de las curvas están asociados a unos números que corresponden con los números del proceso del circuito cerrado del proceso agua - vapor según el croquis de la figura 6.

En la **figura 3** se representa un **secadero de biomasa tipo trómel** y en la **figura 4** otro **secadero tipo ciclónico**.  
50

En la **figura 5** se representa el **croquis de una fábrica integral de cemento**; adicionalmente se incluyen equipos opcionales que se instalan en algunas fábricas de cemento como es la inyección de oxígeno (oxicombustión) o la presencia de un bypass de cloro.

- 5 En la **figura 6** se representa el **croquis de la integración de una fábrica integral de cemento con todos los equipos auxiliares junto a una caldera de biomasa**.

10 Las tuberías de gases y líquidos y los fluidores, cintas, elevadores u otros equipos empleados para el movimiento de sólidos que conectan los equipos de los croquis de las figuras 5 y 6, por los que circulan los distintos tipos de materiales del proceso cementero se representan atendiendo al siguiente código:

- Las líneas continuas corresponden a flujos de gases/aire/oxígeno.
- Las líneas punteadas corresponden a flujos de agua/vapor.
- Las líneas compuestas por raya y punto corresponden a flujos de materias sólidas: materias primas, crudo, clínker, polvo CKD o polvo del Bypass.
- Las líneas compuestas por raya y dos puntos corresponden al flujo de combustibles.

### Descripción de una realización preferida

20 Las formas para aplicar este modelo pueden variar dependiendo de las diversas configuraciones de la fábrica de cemento concreta y del proceso de generación de energía eléctrica que se aplique y del nivel de inversión que se desee acometer para reformar una instalación existente.

25 En general, se debe considerar que todos los procesos cementeros constan de una entrada de materias primas (3000), las entradas de combustibles (1000) y una salida de cemento para su expedición (2000). En caso de instalar una cogeneración se debe considerar adicionalmente la entrada de combustible (4000) a la caldera de biomasa (52).

30 La forma ideal de proceder sería la construcción de una fábrica nueva que estaría compuesta por los siguientes elementos adicionales a las estructuras habituales de las fábricas de producción de clínker de cemento:

### Modificaciones en la línea de fabricación de clínker de cemento:

35 La línea de fabricación de clínker puede ser cualquier línea de producción habitualmente instalada en el mundo. Lo más habitual sería que contuviera los elementos descritos en la figura 5 (el modelo, número y tamaño de cada equipo instalado depende del grado de innovación de cada instalación):

- 40
- (1) **Enfriador de clínker:** El clínker caliente (1.450°C) que cae a este equipo procedente del horno (2), se enfría con aire atmosférico aportado por unos ventiladores. Los gases calientes generados en el proceso de enfriamiento se usan como aire secundario para la combustión del combustible (1000) utilizado en el propio horno (2) o el precalcinador (3). El aire que sobra se lleva al filtro (10) gracias a la depresión generada en el circuito por ventiladores situados adecuadamente a lo largo del proceso.
  - 45 (2) **Horno de clínker:** En este equipo el crudo (materia prima mezclada y molida) procedente de la torre de intercambio (4), alcanza la temperatura necesaria para que se produzcan las reacciones de clinkerización (~ 1.450°C). Parte del aire caliente producido en el enfriador (1) (1.100°C) se usa como aire secundario para la combustión de diferentes tipos de combustibles alimentados a través de un quemador apropiado
- 50

existente. Al aire de ese quemador es posible inyectarle oxígeno a través de una instalación de producción de oxígeno (15) para enriquecer la mezcla y reducir la cantidad de aire necesaria para la combustión.

(3) **Precalcinador:** Elemento en el que se realiza una combustión adicional, reduciendo la combustión que se realiza en el horno (2). Se logra reducir la carga térmica de la combustión del quemador del horno (menos NOx), combustionar otro tipo de combustibles, reducir las pérdidas de calor en el horno, así como le proporciona estabilidad al todo el proceso de producción. El calor generado en el precalcinador se emplea en la descarbonatación de la caliza y la deshumidificación, produciéndose la unión de las corrientes de gases calientes generados en el precalcinador con el crudo procedente de la torre de intercambio de calor (4). Para la combustión del combustible aportado se utiliza como aire terciario aire caliente procedente del enfriador (1). También se puede usar aire enriquecido con oxígeno. Cuanto más moderna sea la línea en la que aplicar la invención se puede mejorar la eficiencia del sistema, por lo que es recomendable la instalación de este precalcinador anexo a la torre de intercambio de calor (4), si bien este elemento no resulta imprescindible. La cantidad de combustible a inyectar en el precalcinador debe ser la adecuada para propiciar la combustión completa de todo el combustible atendiendo a la cantidad de oxígeno realmente disponible, asegurando un tiempo de residencia adecuado a alta temperatura a todos los gases de combustión para la destrucción de dioxinas y furanos ( $T > 850^{\circ}\text{C}$  durante más de 2").

(4) **Torre de intercambio de calor:** Existen una gran variedad de diseños. En general se trata de una serie de ciclones en los que se produce el intercambio de calor a contracorriente entre el crudo descendente dosificado convenientemente en los ciclones superiores de la torre de intercambio procedente del silo de crudo (5), con el calor ascendente de los gases de combustión procedente del horno (2) y del precalcinador (3). En este equipo se eleva la temperatura de la materia prima hasta aproximadamente  $900^{\circ}\text{C}$ , produciéndose la descarbonatación de la caliza.

(5) **Silo de crudo:** Para almacenar y terminar de homogeneizar la materia prima finamente molida procedente del molino de crudo (7) para su posterior dosificación al sistema a través de la torre de intercambio de calor (4) según el nivel de producción que se fije.

(6) **Torre de acondicionamiento de gases:** Equipo necesario para bajar la temperatura de gases de salida de la torre de intercambio de calor (4), antes de pasar al filtro (8) en el caso de que el molino de crudo (7) esté parado.

(7) **Molino de crudo:** Equipo necesario para mezclar, secar y moler los distintos tipos de materias primas (3000) que se unen para conformar un material fino o crudo con la composición necesaria para almacenar en el silo de crudo (5) antes de su alimentación al resto del proceso.

(8) **Filtro final de línea del sistema horno - molino de crudo:** Filtro para eliminar partículas que acompañan a la corriente de gases de salida procedente de la torre de acondicionamiento de gases (6) o del molino de crudo (7). Las partículas finas captadas, denominadas CKD, se suelen almacenar en el silo de crudo (5), aunque es posible también enviarlas al molino de cemento (13).

(9) **Chimenea:** Para emitir y difundir los gases de salida del proceso de combustión tras ser eliminadas las partículas por el filtro (8).

(10) **Filtro final de línea del proceso de enfriamiento de clínker:** Filtro para eliminar partículas que acompañan a la corriente de aire de salida del enfriador de clínker (1) que no se ha empleado como aire secundario en el horno (2) o terciario en el precalcinador (3). Las partículas finas captadas se envían a la nave de clínker (12). El filtro puede incluir un sistema de refrigeración de aire para bajar la temperatura del aire del enfriador de clínker (1) con el objeto de proteger las mangas del filtro. A la salida de este filtro existe un ventilador que tira de los gases para mantener la presión en la cabeza del horno en torno a 1 atm.



- (11) **Chimenea:** Para emitir y difundir los aires excedentes de salida del proceso de enfriamiento de clinker (1).
- (12) **Nave de clinker:** Almacenamiento del clinker formado en el horno (2) tras ser enfriado en el enfriador de clinker (3), así como el clinker fino recogido en el filtro (10).
- (13) **Molino de cemento:** Equipo necesario para moler el clinker acumulado en la nave de clinker (12) con yeso y otros materiales (cenizas volantes, escoria de horno alto, CKD, etc.) para conformar los distintos tipos de cementos (2000) que se producen en la planta.
- (14) **Silos, ensacadoras y otros sistemas de expedición:** Para almacenar en distintos formatos los cementos producidos en el molino de cemento (13) hasta su venta.

A esta configuración básica, se pueden añadir otras instalaciones propias de fábricas de cementos con mejoras tecnológicas:

- (15) **Equipo de producción de oxígeno:** Para producir oxígeno puro (80% aproximadamente), para mezclar con el aire de combustión (alrededor del 30%) y reducir la cantidad de aire necesario para la combustión en el quemador (2) y en el precalcinador (3) con el objeto de aumentar la producción del horno. Como consecuencia se dispone de más aire caliente en el filtro (10). Los equipos de separación O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> constan de: compresor, sistemas de limpieza del aire, acumulador de aire comprimido, separador de membranas, calderín de O<sub>2</sub>. En ocasiones puede ser rentable la instalación de tanques suministradores de oxígeno líquido producido mediante equipos criogénicos.
- (16) **Quenching:** Equipo de enfriamiento de gases muy calientes (900°C) y habitualmente muy ricos en cloro, procedentes de la salida del horno (2) en su unión con la torre de intercambio de calor (4), con el objetivo de purgar al sistema de la presencia de cloro, elemento en el que se va enriqueciendo el proceso debido a fenómenos de recirculación, y que termina provocando problemas de pegaduras en la torre de intercambio de calor (4). Para el enfriamiento de estos gases se emplea aire ambiental.
- (17) **Filtro del bypass de cloro:** Filtro para eliminar partículas ricas en cloro que acompañan a la corriente de gases de salida del quenching (16). Estas partículas finas se envían a vertedero, aunque existen otras opciones que se pueden aplicar para su tratamiento e integración en el ecosistema. El quenching (16) y el filtro (17) no son imprescindibles para los procesos de producción de clinker, si bien, debido a la gran cantidad de combustibles derivados de residuos con alto contenido en cloro que se utilizan, con objeto de evitar los problemas de los fenómenos de recirculación de cloro (pegaduras y atranques), es un elemento muy útil que será cada vez más necesario proceder a su instalación ya que es una solución muy efectiva para el control de pegaduras y atranques.

A este sistema de producción de clinker de cemento se le pueden hacer las mejoras que se plantean en este documento para las que se pide su reconocimiento como patente de invención.

#### Generación de energía eléctrica:

Los procesos de generación de energía eléctrica tienen una gran variedad de posibles configuraciones que mejoran los rendimientos con el objetivo de producir la mayor cantidad de energía eléctrica posible. Hasta la fecha, el aprovechamiento de los gases calientes producidos en cementeras se ha desarrollado en muchas instalaciones a nivel mundial mediante instalaciones de recuperación de la energía ya incluida en los gases calientes que salen por

chimenea o en otras zonas del proceso con alta temperatura sin ningún tipo de recalentamiento de los gases.

Lo que en este documento se propone es la inclusión de una caldera de biomasa (también podrían usarse otros combustibles) para la realización de un ciclo Rankine con recalentamiento para la producción de una cantidad sustancial de energía eléctrica (en función de la biomasa disponible) con mejores rendimientos. La integración de ambos procesos aumenta el rendimiento de las calderas de biomasa entre un 5 y un 10% dependiendo de la cantidad de aire caliente disponible procedente del enfriador de clínker (1).

La integración con el proceso de fabricación de clínker, se realizará según el croquis propuesto en la figura 6:

(50) **Ciclones de alta eficiencia:** El aire caliente excedente producido en el enfriador de clínker (1) a unos 450°C, se conduce mediante tuberías a un conjunto de ciclones de alta eficiencia para eliminar el 80% de las partículas de clínker que transporta el aire de salida del enfriador. Con esta configuración desaparece el filtro del enfriador de clínker (10). Si se enriquece el aire con oxígeno puro la cantidad de aire caliente que salen del enfriador y no se destinan al proceso de fabricación de clínker como aire secundario o terciario es considerablemente mayor, lo que mejora el rendimiento eléctrico de la instalación de cogeneración al aumentar la cantidad de aire caliente disponible.

(51) **Ventilador** que permite mantener la presión en la cabeza del horno en torno a 1 atm, conectado mediante tuberías a la salida de los ciclones de alta eficiencia (50). Este ventilador sustituye al ventilador situado en el filtro (10) compartiendo su función. Asimismo, es posible utilizarlo para mezclar el aire caliente con el oxígeno puro (al 80%) procedente de la instalación de producción de oxígeno (15) para compensar el déficit de oxígeno de los gases procedentes de la recirculación de gases de salida que vienen del economizador (53) a unos 350°C, con objeto de aumentar el caudal de biomasa que se puede utilizar y por lo tanto la potencia eléctrica del sistema.

(52) **Caldera de biomasa**, de lecho fluido u otra tecnología adecuada para la combustión de la biomasa inyectada junto con el aire procedente del ventilador (51) con un exceso de oxígeno suficientemente elevado sobre el estequiométrico necesario para asegurar la combustión completa de todo el combustible (4-6% oxígeno). Las cenizas de la caldera pueden enviarse al molino de crudo (7) o al molino de cemento (13), para ser incorporada al crudo o al cemento en la dosis adecuada.

(53) **Economizador:** Intercambiador de calor para aprovechar la energía de los gases de salida de la caldera (52) (temperatura de salida 350-450°C). Parte de los gases de la salida de este equipo vuelven a la caldera (52) mezclados con oxígeno puro del equipo de producción de oxígeno (15) y aire del enfriador (1) para la combustión completa de la biomasa. La regulación de los caudales se realiza mediante compuertas.

(54) **Recuperador:** Intercambiador de calor adicional para aprovechar la energía de los gases tras el economizador (53) (temperatura de salida 100- 200°C).

(55) **Secadero de biomasa:** Los gases de salida del recuperador (54) a una temperatura entre 100 - 200°C, se usan para bajar la humedad de la biomasa que posteriormente se emplea como combustible. En ocasiones puede ser necesario emplear algún tipo de combustible para aumentar la temperatura y secar biomasa muy húmedas. Se puede utilizar secadero de biomasa tipo trómel rotatorio (figura 3), mediante ciclones tipo flash (figura 4) u otro tipo de secadero similar. Una posibilidad adicional consiste en eliminar la torre de acondicionamiento de gases (6) aumentando la calidad de las mangas del filtro del sistema horno-molino de crudo (8) para que puedan soportar temperaturas superiores a 360°C, logrando un gas caliente utilizable para el secado de

la biomasa. Los gases de salida del secadero de biomasa se envían al quenching (16). Si es necesario se añade aire ambiental para bajar la temperatura. De no existir el bypass para eliminar cloro, podría utilizarse un equipo similar a torre de acondicionamiento de gases (6) del proceso estándar de producción de Clínter convertido en spray-dryer. Se consigue de esta forma utilizar instalaciones ya existentes para depurar los gases de salida de la caldera y el secadero y evitar su construcción. Para mejorar la depuración de los gases de salida en el spray-dryer o en el quenching, es posible que sea necesario añadir caliza húmeda (puede ser CKD procedente del filtro (8)) o carbón activo.

(56) **Filtro final de línea:** La salida de gases del secadero de biomasa (56) depurados por un spray-dryer o tras pasar por el quenching (16) en caso de que exista, se dirige a un filtro de final de línea para separar los sólidos transportados de la corriente de gases. Este filtro sustituye a los filtros (10) y (17) del proceso estándar de fabricación de clínter. El polvo captado en ese filtro debe ser gestionado externamente.

(57) **Chimenea:** Para emitir y difundir en la atmósfera los gases de salida del proceso de combustión de la caldera (52) tras su paso por los equipos de recuperación de energía de los gases de combustión y filtración descritos.

#### Ciclo de agua-vapor:

Este ciclo, es un ciclo Rankine con recalentamiento muy utilizado, que consta de los siguientes equipos:

(101) **Bomba de agua:** para la elevación de la presión del agua.

(54) **Recuperador:** Intercambiador de calor adicional para aprovechar la energía de los gases tras el economizador (53) (temperatura de salida 100- 200°C).

(53) **Economizador:** Intercambiador de calor para aprovechar la energía de los gases de salida de la caldera (52) (temperatura de salida 350- 450°C). En el recuperador y economizador se realiza una elevación progresiva de la temperatura del agua hasta fase vapor.

(52) **Caldera de biomasa,** de lecho fluido u otra tecnología adecuada para la combustión de la biomasa.

(102) **Turbina de alta presión** para la generación de energía eléctrica.

(103) **Turbina de baja presión** para la generación de energía eléctrica, previo recalentamiento adicional del vapor a través del economizador (53).

(104) **Depósito de refrigeración de agua** para la bajada de la temperatura del vapor hasta la condensación del vapor en agua y disminución adicional de la temperatura.

En el caso de que el proceso de producción de clínter esté parado, el rendimiento de la caldera de biomasa (52) vuelve al valor estándar de una caldera no integrada con dicho proceso, permitiendo la gran inercia térmica del proceso de clínterización realizar una reducción controlada de la energía eléctrica producida, sin que sea necesaria la parada de la caldera de biomasa (52).

En el caso de que la caldera de biomasa (52) esté parada, es posible enviar todo el aire del enfriador de clínter (1) directamente al quenching (16) para bajar su temperatura antes pasarlo al secadero de biomasa (55).

Como resumen, la integración de los dos procesos permite compartir un único sistema de limpieza para los gases contaminantes a la atmósfera procedentes de la caldera de biomasa (52), el bypass (17) y el aire del enfriador de clínter (1), lo que supone una reducción en la inversión necesaria. Por otro lado, la posibilidad de darle una salida a las cenizas de la caldera

de biomasa, mezclándola con las materias primas de la producción de clínker es una mejora que hace medioambientalmente más atractiva esta solución.

5 El aire frío para el quenching procedente de los gases de la caldera de generación de energía eléctrica puede tener también un porcentaje importante de cloro, por lo que se logra limpiar al mismo tiempo las dos corrientes de gases gracias a las características básicas del polvo de caliza que arrastran los gases del bypass, partículas de caliza que pueden verse incrementadas con la adición de polvo del filtro de la chimenea del sistema horno - molino de

10 crudo.

## REIVINDICACIONES

1. SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE CALDERAS DE BIOMASA EN PROCESOS DE FABRICACIÓN DE CLÍNKER DE CEMENTO, está caracterizado por:
  - 5 - Enviar el exceso de aire caliente (entre 300 y 450°C) del enfriador de clínker (1), a una caldera de biomasa (52) de un proceso de producción energía eléctrica.
  - Reducir el polvo de clínker transportado por el aire del enfriador de clínker (1) antes de llegar a la caldera mediante un sistema de ciclones de alta eficiencia (50).
  - 10 - Enviar los gases calientes de la caldera de biomasa (52) y los recuperadores asociados de calor (53) y (54), a un secadero de biomasa (55).
  - Enviar los gases de salida del proceso de secado de biomasa (55) al equipo de quenching (16) de plantas de producción de clínker con instalaciones de bypass de cloro.
  - 15 - Enviar las cenizas generadas en la caldera de biomasa al molino de crudo (7) o al molino de cemento (13).
2. SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE CALDERAS DE BIOMASA EN PROCESOS DE FABRICACIÓN DE CLÍNKER DE CEMENTO adaptado a procesos de fabricación de clínker sin instalación de bypass, según reivindicación 1 caracterizado por:
  - 20 - Enviar los gases de salida del proceso de secado de biomasa (55) a la torre de intercambio de gases (6) convertida en spray-dryer, añadiendo polvo CKD captado en el filtro (8) en forma de lechada, y posteriormente enviar el gas al filtro (56).
  - Enviar directamente los gases (entre 350 y 400°C) de salida de la torre de intercambio (4) al filtro (8), acondicionado para aguantar esas temperaturas (ciclones de alta eficiencia), sin pasar por la torre de intercambio de gases (6), para  
25 posteriormente enviar ese gas caliente y limpio en el proceso de secado de la biomasa (55).
3. SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE CALDERAS DE BIOMASA EN PROCESOS DE FABRICACIÓN DE CLÍNKER DE CEMENTO adaptado a procesos de fabricación de clínker sin necesidad de secado de biomasa, según reivindicación 1 y 2 caracterizado por:
  - 30 - Enviar los gases calientes (entre 350 y 400°C) de salida de la torre de intercambio (4) o de la salida del recuperador (54) hacia cualquier proceso que requiera un aporte de calor adicional (por ejemplo: calefacción de viviendas, producción de agua caliente, incremento de la producción eléctrica, producción de "biochar", otros procesos  
35 industriales).

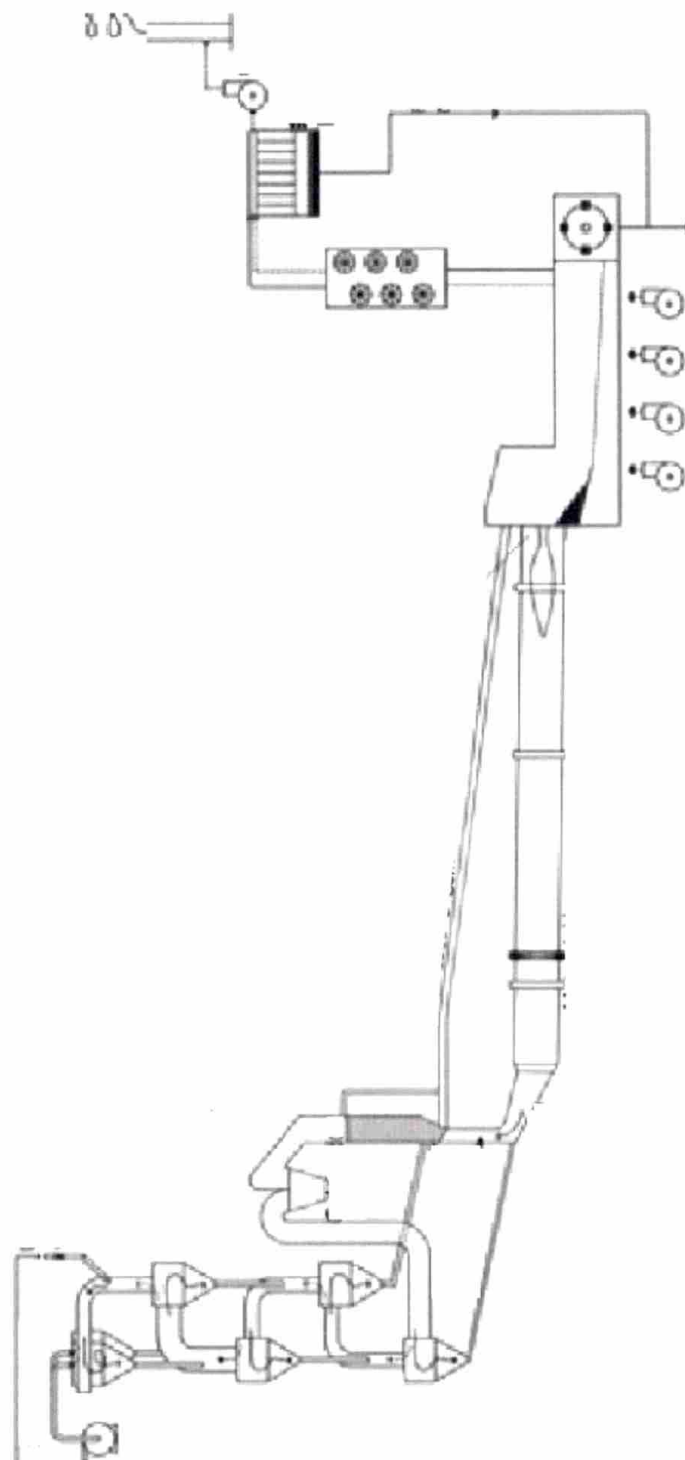


figura 1:

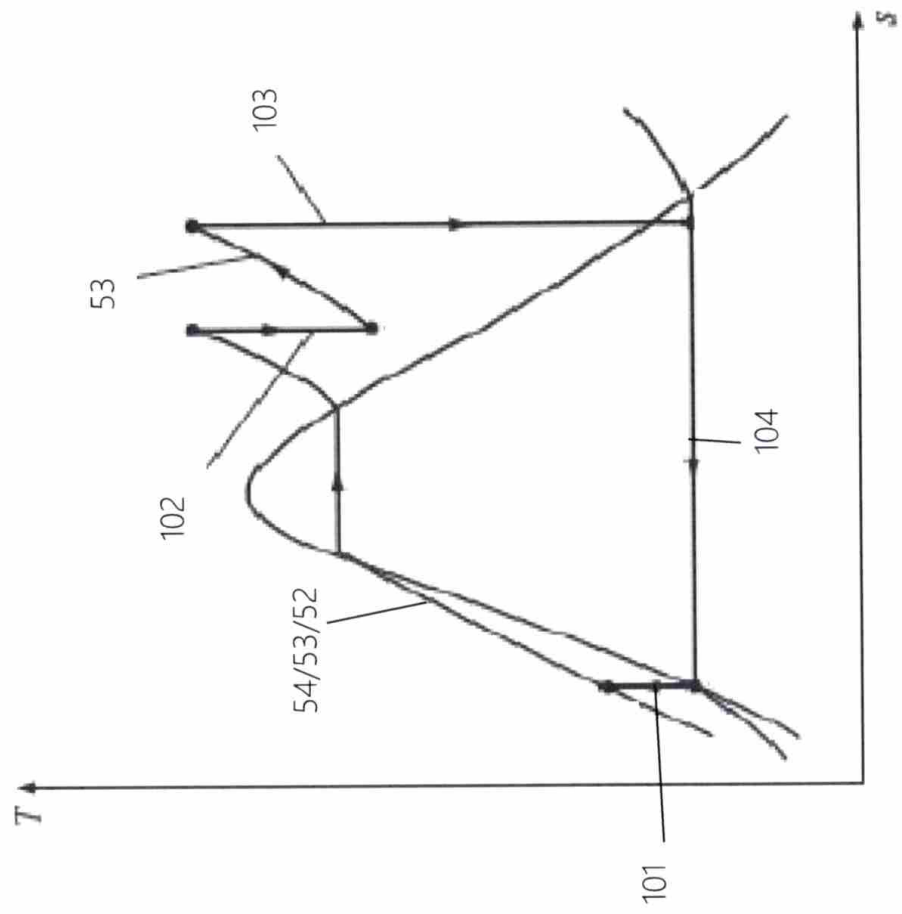


figura 2:

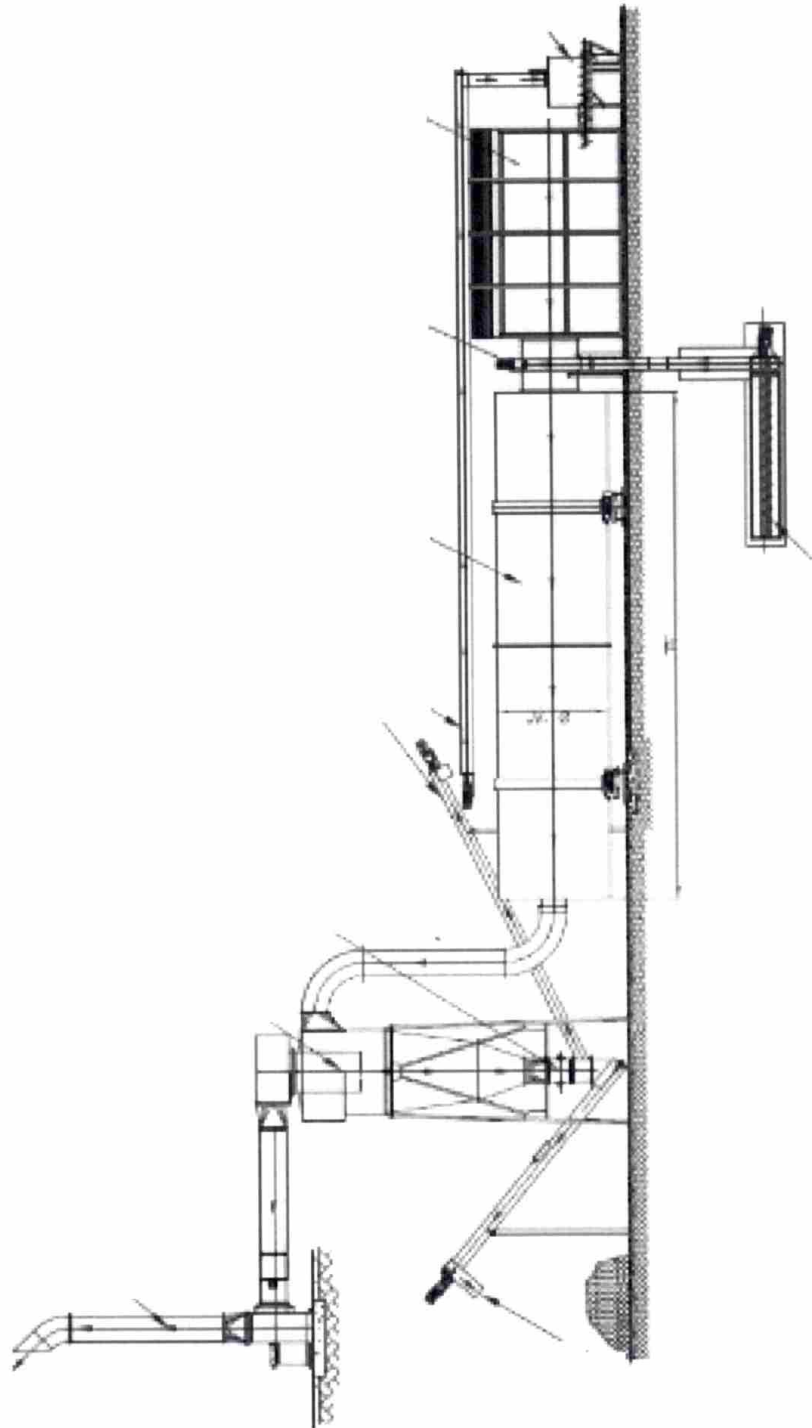


figura 3:



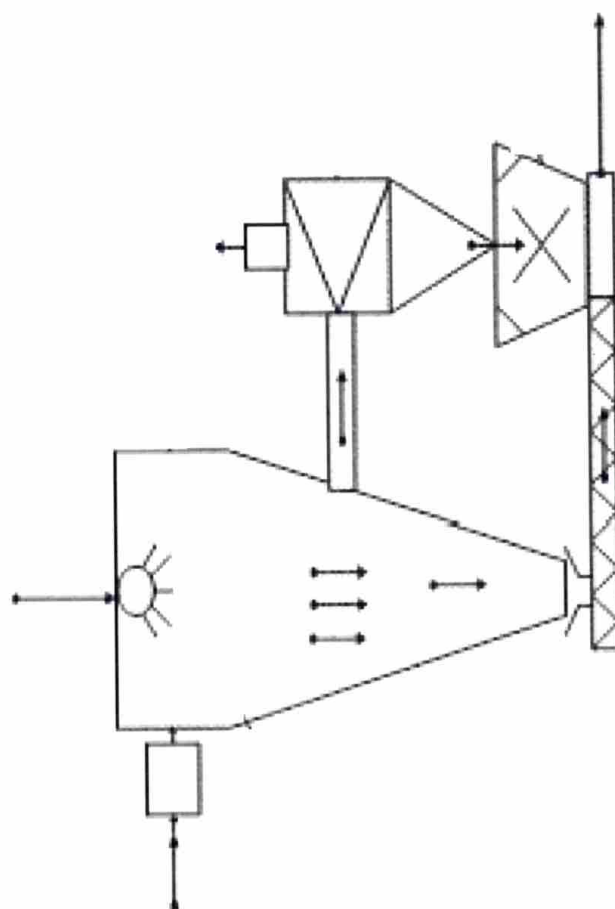


figura 4:

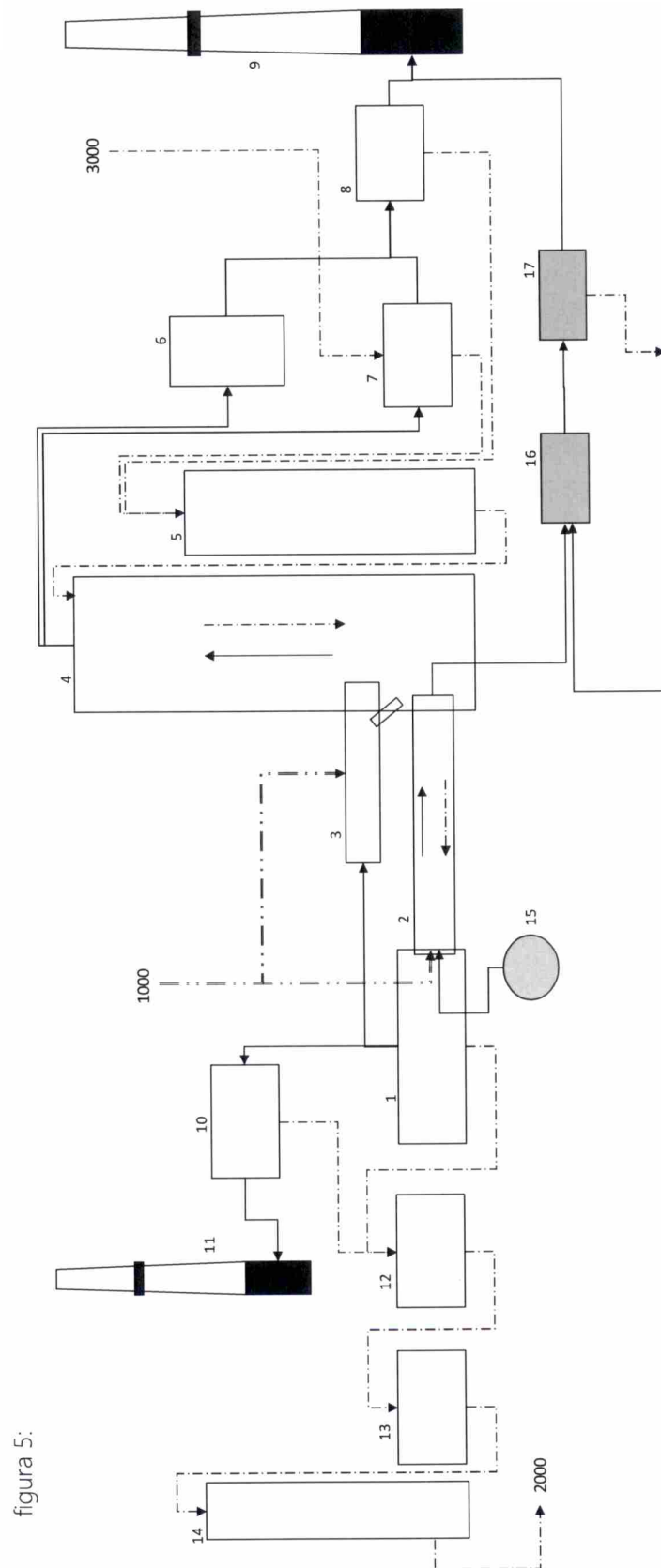


figura 5:

figura 6:

