

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 437**

51 Int. Cl.:

F27D 17/00 (2006.01)

F27B 7/20 (2006.01)

C04B 7/36 (2006.01)

C04B 7/38 (2006.01)

F26B 23/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2009 PCT/IB2009/007822**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.07.2010 WO10073090**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2009 E 09810784 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.09.2016 EP 2376857**

54 Título: **Equipo mejorado para la producción de clínker a partir de crudo de materias primas y procedimiento relacionado**

30 Prioridad:

23.12.2008 IT MI20082311

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

14.03.2017

73 Titular/es:

**ITALCEMENTI S.P.A. (100.0%)
Via G. Camozzi, 124
24121 Bergamo, IT**

72 Inventor/es:

**FEDI, ROBERTO;
CLAUSI, ANTONIO y
CINTI, GIOVANNI**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 605 437 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

Equipo mejorado para la producción de clínker a partir de crudo de materias primas y procedimiento relacionado

5 La presente invención se refiere a un equipo o conjunto de aparatos mejorado para la producción de clínker a partir del crudo de materias primas y al procedimiento relacionado. El cemento es un aglutinante o conglomerante hidráulico utilizado para unir materiales sólidos inertes, como arena y grava, formando de este modo argamasa y hormigón, es decir, los componentes de base para la construcción.

10 A escala industrial, el cemento se fabrica mezclando y moliendo el clínker y yeso con sustancias correctoras como cal, escoria y puzolana. En el procedimiento de producción de cemento según lo que se conoce como tecnología "seca", el clínker se obtiene mediante el horneado a alta temperatura de una mezcla de materias primas que consiste principalmente en cal (carbonato de calcio) y arcilla (sílice, alúmina, óxidos de hierro, así como agua de cristalización). Las materias primas se mezclan en estado sólido en las proporciones deseadas y luego se muelen finamente hasta obtener un polvo homogéneo conocido como "crudo o mezcla bruta". En la presente descripción, por lo tanto, la expresión "crudo" significa el polvo homogéneo obtenido de este modo y usado como material de partida para producir clínkeres.

15 El crudo se transforma en un clínker horneándolo a una temperatura de aproximadamente 1450°C en un horno rotatorio (conocido como "kiln") que esencialmente consiste en un cilindro rotatorio inclinado.

20 Durante su tránsito por el horno rotatorio, el crudo se calienta a temperaturas de aproximadamente 1450°C. Durante el calentamiento, la mezcla experimenta una calcinación completa y, después de ello, reacciona formando aluminatos y silicatos de calcio (reacción de clinkerización), que representan los principales constituyentes del clínker. Más específicamente, durante la reacción de formación del clínker hay una serie de reacciones químicas entre los óxido de calcio, óxido de silicio, óxido de aluminio y óxido de hierro, que están fomentadas por la fusión de una parte de las propias materias primas (óxidos de hierro y aluminio).

25 La energía necesaria para hacer que tenga lugar la reacción de clinkerización se produce por medio de un quemador colocado en la cabeza del horno rotatorio, en el extremo opuesto respecto de aquel en que se carga el crudo. Los combustibles generalmente usados son carbón, coque de petróleo, fueloil, metano, así como combustibles alternativos como por ejemplo harinas de carne.

La energía en forma de calor se transmite al crudo sometido a tratamiento por irradiación en la zona de horneado en el quemador (temperatura de aproximadamente 2000°C) y por convección y conducción por medio de los gases de combustión en la parte restante del horno.

30 Al final del tratamiento de horneado, el clínker así obtenido se descarga del horno rotatorio y se enfría rápidamente en un enfriador de aire con el fin de estabilizarlo.

Los procesos según el estado de la técnica se representan y discuten haciendo referencia a las siguientes figuras:

- 35 - Figura 1A, que muestra una representación esquemática de una planta de producción de clínker según el estado actual de la técnica, que comprende un horno rotatorio equipado con un precalentador por suspensión de 4 etapas;
- Figura 1B, que muestra una representación esquemática de una planta de producción de clínker según el estado actual de la técnica, que comprende un horno rotatorio equipado con un precalentador por suspensión de 5 etapas y un precalcinador.

40 En las figuras previamente mencionadas, las líneas continuas indican los flujos de material sólido y las líneas de trazos, los flujos de las corrientes gaseosas, mientras que los números romanos indican las etapas de los precalentadores por suspensión.

En las plantas de producción de clínker conocidas en la técnica actual, el crudo se somete a un tratamiento de precalentamiento y, opcionalmente, de precalcificación, antes de ser alimentada al horno rotatorio.

45 Una de las técnicas de precalentamiento usadas en la actualidad más ampliamente se basa en el uso de los denominados "precalentadores por suspensión" o "precalentadores ciclónicos multietapa" (denominados en este documento a partir de ahora simplemente precalentadores) que consisten en una torre ciclónica en la cual cada etapa de precalentamiento tiene lugar en uno o más ciclones. En tal tipo de precalentadores, se denomina primer ciclón al ciclón en el cual tiene lugar la primera etapa de precalentamiento y la primera separación entre el crudo precalentado y los gases de combustión; el segundo ciclón es el ciclón en el cual tiene lugar la segunda etapa de precalentamiento y la segunda separación entre el crudo precalentado y los gases de combustión; y los posteriores ciclones del precalentador ciclónico multietapa se definen de manera análoga. En la presente descripción, el primer ciclón del precalentador, justamente como los ciclones posteriores, debería siempre ser interpretado según la definición anterior.

La primera etapa, a diferencia de las posteriores, se configura para minimizar el transporte de polvo por los gases de combustión del horno. A pesar de ello, la concentración de polvo en los gases de combustión que salen del precalentador continúa siendo alta (alrededor de 50 – 100 g/Nm³).

5 Las etapas de precalentamiento y precalcificación se llevan a cabo, respectivamente, en el precalentador 1 y en el precalcinador 2 (figuras 1A y 1B). La presencia de estas etapas permite que el crudo parcialmente calcinado (30 – 40%) que se ha precalentado hasta una temperatura de aproximadamente 950°C se alimente al horno rotatorio 3, con un ahorro energético sustancial en la reacción de clinkerización posterior. La presencia de la etapa de precalentamiento, acompañada de manera opcional por la etapa de precalcificación, permite también reducir el tamaño de los hornos rotatorios usados, disminuyendo de este modo las pérdidas de calor que se producen en tales hornos y aumentando la eficiencia global energética en el proceso de producción del clínker.

10 En el precalentador, el crudo de partida se lleva gradualmente desde una temperatura de aproximadamente 40°C hasta aproximadamente 950°C. El calentamiento se realiza manteniendo el crudo en suspensión en un flujo de gases calientes, que está formado por los gases de combustión del horno rotatorio, explotando la gran superficie de intercambio de calor entre el crudo y los gases de combustión.

15 En la etapa de precalentamiento, es de fundamental importancia el tiempo durante el cual está en contacto la fase sólida (el crudo) con la fase gaseosa (los gases de combustión del horno rotatorio). Con el fin de asegurar un tiempo de contacto óptimo entre la fase sólida y la fase gaseosa, el precalentador por suspensión consiste en una serie de ciclones (de 4 a 6) dispuestos uno encima del otro para formar una torre de altura variable incluso hasta de 130 – 150 m. Tal precalentador se puede definir como un precalentador ciclónico multietapa. La primera etapa de precalentamiento, que se produce en el extremo superior de la torre, se puede llevar a cabo en dos ciclones en paralelo para asegurar una mejor eficiencia de separación del crudo del flujo de gases antes de que salga del precalentador.

20 En referencia a la figura 1A, en el precalentador ciclónico multietapa 1, los gases de combustión procedentes del horno rotatorio 3 y que tienen una temperatura de aproximadamente 900 – 1000°C pasan a través de los ciclones desde la parte inferior hacia la parte superior (desde IV hasta I). El crudo de partida se mezcla con los gases de combustión en el precalentador 1, dentro del cual se introduce a través de una válvula 4, dispuesta en la parte superior del precalentador, entre el primer ciclón (I) y el segundo (II). El crudo pasa a través del precalentador hasta la salida en la parte inferior, transportado de un ciclón al siguiente por el flujo de los gases de combustión. En cada ciclón, aproximadamente el 80% de la fase sólida (crudo) se separa de la fase gaseosa (gases de combustión) para ser introducido luego de nuevo en la fase gaseosa que está entrando en el ciclón siguiente de más abajo. La fase gaseosa que contiene la fracción de sólido restante (aproximadamente 20% del crudo), por otro lado, fluye hacia el siguiente ciclón superior.

25 En el fondo del precalentador 1, se obtiene un crudo precalentado con una temperatura de aproximadamente 950°C. Desde la última etapa de precalentamiento del precalentador ciclónico multietapa, se descarga el crudo directamente al horno rotatorio 3 para la posterior reacción de clinkerización.

30 En plantas equipadas con un precalcinador 2 (figura 1B), el crudo precalentado se alimenta desde el precalentador 1 a una cámara de combustión adecuada 5, equipada con un quemador 6, dentro del cual experimenta un proceso parcial de calcificación. El crudo precalcificado abandona el precalcinador 2 y se alimenta, junto con los gases de combustión del precalcinador 2, a la última etapa (V) del precalentador 1 para dirigirse a continuación al horno rotatorio 3. Los gases de combustión del precalcinador 2 fluyen junto con los del horno rotatorio 3 y suben a través del precalentador 1 hasta la salida superior 7, situada tras el primer ciclón.

35 El flujo gaseoso que sale a través de la salida 7 del precalentador, que comprende los gases de combustión del horno rotatorio 3 y, opcionalmente, los del precalcinador 2, tiene una temperatura de aproximadamente 270 – 360°C. Antes de ser liberado a la atmósfera, este flujo se usa generalmente en otras etapas del proceso de producción del cemento (por ejemplo, para pulverizar y secar las materias primas o también como aire para combustión en el horno rotatorio o en el precalcinador), para recuperar su contenido de calor.

40 La preparación del clínker en una planta de producción de cemento como la descrita previamente genera volúmenes enormes de emisiones gaseosas, que pueden potencialmente contaminar el medio ambiente.

45 El flujo gaseoso que sale del precalentador se caracteriza por una alta concentración de sustancias contaminantes, en particular óxidos de nitrógeno (NO_x) y polvos.

50 Los óxidos de nitrógeno NO_x se derivan principalmente de los procesos de combustión que se producen en el horno rotatorio y, opcionalmente, en el precalcinador. Las principales técnicas usadas actualmente para reducir la cantidad de NO_x en el flujo gaseoso que sale del precalentador son las dos siguientes:

- 55 - Reducción selectiva no catalítica (SNCR por sus siglas en inglés) que prevé la reacción de los NO_x con un agente reductor (por ejemplo, amoníaco o urea) en la zona de alta temperatura del precalentador;

- Reducción selectiva catalítica (SCR, por sus siglas en inglés) que prevé la reacción de los NO_x con NH₃ como agente reductor en presencia de un catalizador.

La técnica SNCR es efectiva si se usa sobre un flujo gaseoso que tiene una temperatura de 800 – 900°C y permite reducir la mayor parte del NO_x presente (es decir, más del 50%).

- 5 La aplicación de la técnica SCR, solo recientemente usada en el campo de la producción de energía eléctrica y en fase de desarrollo en el campo del cemento, permite obtener rendimientos de reducción muy altos (por encima del 90%). La técnica SCR es efectiva si se usa sobre un flujo gaseoso que tiene una temperatura comprendida entre aproximadamente 300 y aproximadamente 400°C.

- 10 Considerando este intervalo de temperatura óptimo, el sistema de reducción SCR se instala en las plantas de producción de clínker en el extremo de salida superior del precalentador, después del primer ciclón, donde el flujo de gases que sale a través de tal salida, que comprende los gases de combustión del horno rotatorio y, opcionalmente, los del precalcinador, tiene una temperatura de aproximadamente 270 – 360°C.

- 15 Sin embargo, la aplicación de la tecnología SCR tiene varios inconvenientes debidos principalmente a la presencia de cantidades sustanciales de polvo en los gases de combustión que salen del precalentador. El polvo, al depositarse sobre las paredes del catalizador, disminuye la eficiencia del sistema de reducción SCR, aumentando al mismo tiempo la resistencia al paso del flujo gaseoso y, por lo tanto, el consumo energético relacionado con su movimiento.

- 20 La presencia de polvo en el efluente gaseoso tratado significa también un alto consumo de energía asociado con la necesidad de limpiar el catalizador con aire comprimido, así como la reducción de la vida útil del catalizador debido a la acción abrasiva que el polvo ejerce sobre la superficie del lecho catalítico.

La presencia de gran cantidad de polvo está relacionada esencialmente con la eficiencia limitada de la eliminación de polvo de los ciclones que forman el precalentador. Aunque están diseñados para maximizar la eficiencia de la separación, los ciclones solo son capaces de separar de manera efectiva el polvo más pesado.

- 25 En segundo lugar, a la salida del precalentador puede haber también cenizas generadas por la combustión en los quemadores del horno rotatorio y del precalcinador de fueles alternativos, como por ejemplo harinas animales. La presencia de cenizas (que contienen fosfatos) provoca el envenenamiento del catalizador y en consecuencia la disminución de la eficiencia en la reducción de la cantidad de NO_x.

- 30 Algunas veces hay óxidos de azufre en los gases, principalmente en forma de SO₂, dependiendo del contenido de azufre de las materias primas usadas. La disminución de SO₂ en estos casos se puede llevar a cabo por medio de la inyección de compuestos a base de óxido de calcio y/o hidróxido de calcio en los gases de combustión, con la consiguiente formación de sulfato de calcio, siendo posible ventajosamente reciclar dicho sulfato de calcio en el proceso de producción del clínker. La eficacia de la reducción de la cantidad de óxidos de azufre en la fase gaseosa según la técnica previamente mencionada está limitada también por la presencia en los gases de altas concentraciones de polvo, que hacen casi imposible reciclar la cal que no ha reaccionado.

- 35 De los gases de combustión que salen del precalentador, tras haber sido purificados de NO_x y SO_x y tras haber sido reciclados opcionalmente a través de otras etapas del proceso de producción para recuperar su calor residual, debe finalmente eliminarse el polvo antes de que se liberen a la atmósfera.

- 40 El proceso de eliminación del polvo se lleva a cabo normalmente filtrando los gases con electrofiltros (denominados también precipitadores electrostáticos) o también con filtros de tejido, siendo estos últimos más ampliamente usados en las plantas de producción de clínker.

- 45 A diferencia de los electrofiltros que pueden filtrar flujos gaseosos incluso a altas temperaturas, los filtros de tela solo pueden funcionar a temperaturas por debajo de 250°C (según el tipo de tejido que se use). Por lo tanto, el uso de filtros de tela para eliminar el polvo de los gases de combustión necesita la instalación de sistemas adecuados para disminuir la temperatura de los gases a filtrar (por ejemplo, torres de acondicionamiento, intercambiadores de calor, inserción de aire para dilución) con el consiguiente aumento en los costes de la inversión y del consumo de energía en el proceso.

La preparación de clínker en una planta de producción de cemento como la descrita previamente tiene también otros inconvenientes.

- 50 El corto período de tiempo de contacto entre la fase sólida (el crudo) y la fase gaseosa (gases de combustión) que se puede hacer en una sola etapa del precalentador de suspensión necesita la instalación de muchos ciclones, para formar un precalentador multi-etapa, para conseguir un nivel aceptable de intercambio térmico. Esto requiere de la construcción de estructuras de soporte fuertes para el precalentador y, a la vez, un alto consumo de energía asociado al transporte de los gases y del material sólido a través del precalentador.

Según la capacidad de producción de la planta y las tecnologías específicas de producción que se adopten, el precalentador puede alcanzar alturas considerables (130 – 150 m), provocando también la “desfiguración del paisaje”.

5 Además, incluso usando precalentadores de 4-6 etapas que permiten mayores tiempo de contacto, el intercambio térmico entre el crudo y los gases de combustión no es lo suficientemente grande como para asegurar que se alcanza el equilibrio térmico. En los precalentadores conocidos en el estado actual de la técnica, la diferencia entre la temperatura del crudo y de los gases de combustión que salen del precalentador es de 40 – 50°C, en promedio.

10 Un ejemplo de un equipo de acuerdo con el estado actual de la técnica se describe en el documento de la patente EP 0341417. De hecho, la patente EP 0341417 describe un equipo para la producción de clínker a partir de crudo, que comprende: un horno rotatorio; un precalentador ciclónico multi-etapa conectado corriente abajo de dicho horno rotatorio (8) en relación a la dirección del flujo de los gases de la combustión que se produce en dicho horno; un electrofiltro conectado corriente abajo de dicho precalentador y corriente arriba de dicho electrofiltro respecto de dicha dirección del flujo de los gases de combustión y que comprende una segunda entrada para la alimentación del crudo parcialmente precalentado del electrofiltro al precalentador.

15 El objetivo de la presente invención es hacer un equipo y un proceso mejorados para superar los inconvenientes resaltados de la técnica actual.

Un primer objeto de la presente invención es un equipo para la producción de clínker a partir de crudo, que comprende:

- un horno rotatorio 8;
- 20 - un precalentador ciclónico multi-etapa 9 conectado corriente abajo de dicho horno rotatorio 8 con respecto a la dirección de flujo de los gases 11 de la combustión que tiene lugar en dicho horno rotatorio 8;
- un electrofiltro 10 conectado corriente debajo de dicho precalentador 9 respecto de dicha dirección de flujo de los gases de combustión 11; caracterizado por que comprende una primera entrada 17 para alimentar el crudo a dichos gases de combustión 11; estando dispuesta dicha entrada 17 corriente abajo de dicho precalentador 9 y corriente arriba de dicho electrofiltro 10 respecto de dicha dirección de flujo de los gases de combustión 11, y por que comprende una segunda entrada 18 para alimentar crudo parcialmente precalentado 14 procedente de dicho electrofiltro 10 a dicho precalentador 9, comprendiendo además dicho equipo medios para purificar los gases de combustión limpios de polvo que salen del electrofiltro de contaminantes adicionales y medios para recuperar su calor, de forma que los medios para purificar los gases de combustión limpios de polvo que salen del electrofiltro comprenden medios para disminuir la cantidad de NO_x y/o un dispositivo para disminuir la cantidad de óxidos de azufre, en particular el SO₂.

Un segundo objeto de la presente invención es un proceso mejorado para la producción de clínker a partir del crudo en un equipo que comprende un horno rotatorio 8, opcionalmente un precalcinador, un precalentador ciclónico multi-etapa 9 y un electrofiltro 10, de forma que dicho proceso comprende las siguientes etapas de funcionamiento:

- 35 a) hacer que los gases de combustión 11, procedentes del horno rotatorio 8, fluyan desde la parte inferior hasta la superior del precalentador 9;
- b) mezclar el crudo 22 con los gases de combustión 11 que salen del precalentador 9, precalentando el crudo 14 poniéndolo en contacto con los gases de combustión 11, y formar un flujo gaseoso que contiene un crudo 14 parcialmente precalentado en suspensión;
- 40 c) alimentar el flujo obtenido en la etapa b) al electrofiltro 10 y separar el crudo 14 parcialmente precalentado del flujo de los gases de combustión 15 libres de polvo;
- d) alimentar el crudo 14 parcialmente precalentado obtenido en la etapa c) al precalentador 9 y precalentar el crudo 14 poniéndolo en contacto en contracorriente con los gases de combustión 11 que fluyen desde el fondo hasta la parte superior;
- 45 e) alimentar el crudo precalentado 16 procedente de la etapa d) al horno rotatorio 8 para la posterior producción de clínker;
- f) someter los gases de combustión libres de polvo (15) que salen del electrofiltro (10) a tratamientos de purificación de contaminantes adicionales y tratamientos de recuperación del calor, de modo que la fase f) comprende un tratamiento de disminución de la cantidad de NO_x y/o un tratamiento de disminución de la cantidad de óxidos de azufre, en particular de SO₂.

Una realización preferida del equipo y del procedimiento según la presente invención se representa de manera esquemática en las figuras 2 y 3 anexas.

Asimismo, en las figuras 2 y 3, las líneas continuas indican los flujos de los materiales sólidos, las líneas discontinuas indican los flujos gaseosos, mientras que los números romanos indican los ciclones del precalentador por suspensión.

5 La etapa a) del proceso según la presente invención prevé hacer que los gases de combustión 11, procedentes del horno rotatorio 8, fluyan desde el fondo del precalentador 9 hasta la parte superior. De forma similar a lo que ocurre en una planta de producción de clínker según la técnica anterior, los gases de combustión 11 entran en el precalentador 9 por la parte inferior y ascienden a través de los ciclones del precalentador ciclónico multi-etapa 9 hasta la salida superior 12.

10 En la etapa b) del proceso, el crudo de partida 22 se mezcla con los gases de combustión 11 que salen del precalentador 9, con precalentamiento del crudo 14 por contacto con los gases de combustión 11 y formación de un flujo gaseoso que contiene un crudo 14 parcialmente precalentado en suspensión.

15 La inserción del crudo de partida 22 en los gases de combustión 11 tiene lugar a través de una válvula de entrada adecuada 17 dispuesta corriente abajo de la salida 12 del precalentador de suspensión 9 y corriente arriba de la entrada 13 en el electrofiltro 10, con respecto a la dirección de flujo de los gases de combustión 11. De esta forma, el crudo 22 se mezcla con los gases de combustión 11 permaneciendo en suspensión en la fase gaseosa y, al mismo tiempo, calentándose, formando de este modo un flujo gaseoso que contiene el crudo 14 parcialmente precalentado en suspensión.

20 La temperatura del crudo 14 parcialmente precalentado depende, además de la temperatura de los gases de combustión 11 que salen a través de la válvula de salida 12 del precalentador 9, también de la longitud del recorrido que conecta la válvula de entrada 17 del crudo 22 en los gases de combustión 11 a la válvula de entrada 13 en el electrofiltro 10 del crudo 14 parcialmente precalentado en suspensión (a partir de ahora, denominado, más simplemente, "recorrido o camino P"). De hecho, el tiempo de contacto entre el crudo 22 y los gases de combustión 11 y, por lo tanto, el grado de intercambio de calor entre los gases de combustión 11 y el crudo 22, depende de la longitud de dicho recorrido P. Así, mediante la adecuada selección de la longitud del recorrido P es posible variar la temperatura del crudo parcialmente precalentado 14 que entra en el precalentador 9. En una realización preferida de la presente invención, la longitud de dicho recorrido P es tal que el crudo parcialmente precalentado 14 que entra en el precalentador 9 tiene una temperatura dentro del intervalo 250 – 400°C, preferiblemente 270 – 360°C. En las plantas de producción de clínker conocidas en la técnica actual, el crudo sometido a precalentamiento en un precalentador de suspensión tiene una temperatura de aproximadamente 40°C y alcanza valores de temperatura dentro del intervalo 270 – 360°C tras haber pasado a través de al menos las primeras dos etapas de precalentado. El uso del electrofiltro conectado a un precalentador de suspensión según la presente invención permite, por lo tanto, alimentar al precalentador de suspensión con un crudo a una temperatura mucho más alta. En consecuencia, con el fin de completar el precalentado del crudo hasta la temperatura de entrada en el horno rotatorio (aproximadamente 950°C) es posible usar un precalentador de suspensión que tiene un número menor de etapas ciclónicas. Además, el equipo según la presente invención, es también mucho más corto que los precalentadores de suspensión usados en plantas de producción de clínker puesto que tiene 1 o 2 etapas ciclónicas menos.

40 En la etapa posterior, c), el flujo gaseoso obtenido en la etapa b) se alimenta al electrofiltro 10 donde el crudo 14 parcialmente precalentado se separa de un flujo de gases de combustión libre de polvo 15. Tal separación tiene lugar por precipitación electrostática dentro del electrofiltro 10. El crudo parcialmente precalentado 14 así separado se alimenta al precalentador 9, donde se mezcla con los gases de combustión 11 que fluyen dentro del propio precalentador (etapa d)) y se precalienta por contacto en contracorriente con los gases de combustión 11 que fluyen desde el fondo hacia la parte superior. Con este objetivo, el crudo parcialmente precalentado 14 separado por medio del electrofiltro 10 se inserta en el precalentador 9 a través de una válvula de entrada 18 al precalentador 9. Tal válvula de entrada 18 se puede prever preferiblemente en un punto intermedio entre dos ciclones, preferiblemente entre el primer y el segundo ciclones.

45 Conectando el electrofiltro 10 al precalentador 9 de la forma previamente descrita, es posible usar el electrofiltro 10 en vez de uno o más ciclones, explotando también así la mejor eficiencia en la eliminación de polvo de esta clase de dispositivo, respecto de los ciclones.

50 En la etapa final del proceso según la presente invención (etapa e)) el crudo precalentado 14 (a una temperatura de aproximadamente 950°C) se descarga por el fondo del precalentador 9 en el horno rotatorio 8 para la posterior reacción de clinkerización.

El proceso según la presente invención comprende también una etapa f) que consiste en someter los gases de combustión purificados 15 que salen del electrofiltro 10 a tratamientos adicionales de purificación de los contaminantes y a tratamientos de recuperación del calor.

55 En la realización preferida del procedimiento según la presente invención ilustrada en la figura 2, los gases de combustión limpios de polvo 15 obtenidos por separación del crudo parcialmente precalentado 14 en la etapa c) abandonan el electrofiltro 10 a través de la válvula de salida 19 para ser luego alimentados a etapas adicionales de tratamiento para purificarlos de los contaminantes y para recuperar su calor. Con este objetivo, el equipo objeto de la

presente invención prevé adecuados medios de tratamiento para la purificación de los contaminantes y medios de recuperación del calor.

5 Los gases de combustión limpios de polvo 15 se pueden también reciclar a otras etapas del proceso de producción de clínker y, más generalmente, del proceso de producción de cemento dentro del cual se incluye el equipo de producción de clínker según la presente invención.

10 Un tratamiento de purificación de contaminantes al cual se pueden enviar los gases de combustión libres de polvo 15 es un proceso de reducción de los NO_x. Preferiblemente, este tratamiento es un proceso de reducción catalítica selectiva (SCR por sus siglas en inglés) por medio de agentes reductores (por ejemplo, amoníaco). El proceso SCR se puede llevar a cabo a través de un dispositivo de reducción catalítica selectiva adecuado, tal como por ejemplo
15 un dispositivo SCR (figura 2), según las vías conocidas en la técnica. El agente reductor se puede alimentar en el flujo gaseoso corriente arriba del dispositivo SCR. De forma alternativa, también se puede usar como agente reductor el amoníaco que puede estar presente posiblemente en el mismo flujo de gases de combustión sometidos al tratamiento SCR. Este amoníaco se deriva del tratamiento con calor de las materias primas alimentadas al precalentador y es transportado por los gases de combustión a través del electrofiltro hasta el catalizador del dispositivo SCR. Si la cantidad de amoníaco derivada de las materias primas es insuficiente, es posible alimentar una cantidad adicional de amoníaco o de otro agente reductor al flujo gaseoso sometido a la SCR.

20 Otro tratamiento de purificación al cual es posible someter los gases de combustión limpios de polvo 15 es un proceso de reducción de los óxidos de azufre (desulfurización), en particular para reducir el SO₂. Preferiblemente, este proceso prevé la inyección de compuestos a base de óxido de calcio y/o hidróxido de calcio en los gases de combustión limpios de polvo 15, a través de un dispositivo de inyección adecuado. El proceso de desulfurización previamente mencionado (no mostrado en la figura 2) se puede llevar a cabo, sin distinción, antes o después del proceso de reducción de los NO_x.

25 Los gases de combustión limpios de polvo 15 se pueden alimentar también a otras etapas del proceso de producción de clínker o, de forma más general, a otras etapas del proceso de producción de cemento (por ejemplo, en la pulverización y secado de las materias primas o también como aire de combustión en el horno rotatorio y/o en el precalcinador) para recuperar se calor residual antes de liberarlos en la atmósfera.

30 El calor residual de los gases de combustión limpios de polvo 15 se recupera usando medios adecuados de recuperación del calor. Con este objetivo, el equipo según la presente invención puede, por ejemplo, comprender un intercambiador de calor de los tipos aire/aire, aire/aceite diatérmico, aire/vapor de agua o si no una torre de acondicionamiento de agua (torre de acondicionamiento 21 en la figura 2).

El procedimiento según la presente invención se puede aplicar también en plantas de producción de clínker equipadas con un precalcinador. En este caso, los gases de combustión del horno rotatorio se alimentan al precalcinador y desde el mismo, junto con los gases de combustión del precalcinador, al precalentador de suspensión 9.

35 El equipo según la presente invención y el procedimiento relacionado tienen varias ventajas respecto de los procedimientos y equipos conocidos en la técnica actual.

40 De acuerdo con la presente invención, el electrofiltro se usa en el proceso de producción de clínker como una parte fundamental del proceso de producción, en particular como una parte esencial del equipo de precalentamiento. En los procedimientos de la técnica anterior, el electrofiltro se usa, de hecho, solamente como un dispositivo eliminador del polvo de los flujos gaseosos antes de que se liberen a la atmósfera.

Las principales ventajas de la presente invención son las siguientes:

45 - el uso del electrofiltro en combinación con el precalentador por suspensión permite aumentar el tiempo de contacto entre el crudo y los gases de combustión durante la etapa de precalentamiento, con la consecuente mejora del intercambio de calor y, por lo tanto, de la eficiencia térmica de la planta de producción de clínker. Gracias a tal aumento de la eficiencia térmica es posible eliminar uno o más ciclones del precalentador (como se representa de manera esquemática en la figura 2, donde se prevén solamente tres ciclones en el precalentador 9), con la consecuente reducción de altura de la estructura de soporte relacionada, de los costes de inversión y del impacto medioambiental;

50 - los gases de combustión que salen del electrofiltro se caracterizan por un bajo contenido de polvo. Esto hace posible mejorar la eficiencia en la reducción de las etapas de purificación posteriores mediante la reducción de los gases NO_x y SO_x;

- en el caso de que se use un intercambiador de calor para recuperar la energía en forma de calor residual de los gases de combustión que salen del electrofiltro, el bajo contenido de polvo disminuye los típicos problemas de ensuciamiento de los intercambiadores.

En relación con la eliminación de los NO_x mediante sistemas de reducción SCR, la planta y el proceso según la presente invención permiten someter los gases de combustión con un contenido bajo de polvo a tratamiento SCR con las siguientes consecuencias:

- 5 - aumento de la fiabilidad de funcionamiento del catalizador, reducción de las pérdidas de carga (debidas al atascamiento del catalizador) y, por lo tanto, disminución del consumo de energía para el transporte de los gases;
- disminución del consumo de energía asociado al uso de aire comprimido durante el tratamiento SCR para mantener un grado suficiente de limpieza del catalizador;
- disminución de las intervenciones de mantenimiento en el sistema SCR debidas al atascamiento del catalizador, a su envenenamiento, etc;
- 10 - posibilidad de usar una cantidad de catalizador más pequeña, reduciendo así de esta forma el volumen y los costes del sistema SCR;
- ampliación de la vida útil del catalizador.

15 Además, la presente invención, al permitir superar los problemas de funcionamiento del sistema de reducción SCR relacionados con el alto grado de suciedad de los gases de combustión, permite también que el mismo sistema de reducción se use también para eliminar otros tipos de sustancias contaminantes que pueden estar posiblemente presentes en los gases de combustión. Con este objetivo, de hecho es suficiente usar, además del catalizador para los NO_x, un catalizador adicional que tenga la composición química adecuada.

20 Además en el caso en el que se usan combustibles alternativos en el proceso de producción del clínker, el electrofiltro asegura la reducción de las posibles cenizas producidas (que típicamente contienen fosfatos) que pueden provocar el envenenamiento del catalizador. Por lo tanto, otra ventaja de la presente invención es hacer compatible el uso de la tecnología SCR con cualquier tipo de combustibles alternativos.

Las siguientes realizaciones de ejemplo se proporcionan simplemente para ilustrar la presente invención y no deberían tomarse como limitadoras del alcance de la protección definida por las reivindicaciones anexas.

EJEMPLO 1

25 La figura 3 muestra de forma esquemática un equipo según la presente invención que comprende un electrofiltro y un precalentador de suspensión ciclónico de tres etapas. En dicho equipo, el recorrido del flujo gaseoso de los gases de combustión procedentes del horno (no mostrado) y del crudo que se va a precalentar es tal que se hacen tres etapas globales de precalentado y reparación relativa del crudo precalentado de los gases de combustión.

30 Con el fin de demostrar la alta eficiencia energética del proceso y del equipo de acuerdo con la presente invención, se ha calculado la temperatura del flujo gaseoso (gases de combustión) y del polvo (crudo) en diferentes puntos del equipo. Con este objetivo, se han hecho las suposiciones siguientes:

- el flujo gaseoso y el polvo que sale de los ciclones y del electrofiltro están en equilibrio térmico;
- la concentración de polvo en el flujo gaseoso que sale de los ciclones y del electrofiltro es desdeñable, insignificante, es decir, la eficiencia de la separación es cercana al 100%.

35 El cálculo de las temperaturas de los flujos gaseosos y el del polvo se realizó buscando de manera reiterada los valores de temperatura que llevan los balances de energía de cada etapa del proceso al equilibrio.

El balance de masas se realizó tomando como referencia la cantidad de clínker producido, expresada en kg. Esta cantidad es menor que la de crudo alimentado al proceso para obtener el clínker (se necesitan aproximadamente 1,55 kg de crudo para producir 1 kg de clínker).

40 A partir de los cálculos realizados, en los puntos A – H del equipo los gases de combustión y el crudo tienen las siguientes características:

Punto A (crudo)

Cantidad:	1,55 kg /kg de clínker
Temperatura:	50°C
45 Contenido calórico:	24 kcal/kg de clínker

ES 2 605 437 T3

Punto B (gases)

Cantidad: 1,5 Nm³/ kg de clínker

Temperatura: 308°C

Contenido calórico: 166 kcal/kg de clínker

5

Punto C (crudo)

Cantidad: 1,65 kg /kg de clínker

Temperatura: 308°C

Contenido calórico: 158 kcal/kg de clínker

10 Punto D (crudo)

Cantidad: 0,10 kg /kg de clínker

Temperatura: 576°C

Contenido calórico: 18 kcal/kg de clínker

Punto D (gases)

15 Cantidad: 1,4 Nm³/ kg de clínker

Temperatura: 576°C

Contenido calórico: 282 kcal/kg de clínker

Punto E (crudo)

20 Cantidad: 0,10 kg /kg de clínker

Temperatura: 826°C

Contenido calórico: 26 kcal/kg de clínker

Punto E (gases)

Cantidad: 1,3 Nm³/ kg de clínker

25 Temperatura: 826°C

Contenido calórico: 386 kcal/kg de clínker

Punto F (crudo)

Cantidad: 1,65 kg /kg de clínker

30 Temperatura: 526°C

Contenido calórico: 270 kcal/kg de clínker

Punto G (crudo)

Cantidad: 0,10 kg /kg de clínker

Temperatura: 860°C

35 Contenido calórico: 27 kcal/kg de clínker

Punto G (gases)

Cantidad: 1,2 Nm³/ kg de clínker
 Temperatura: 860°C
 Contenido calórico: 372 kcal/kg de clínker

5 El balance de energía de cada una de las tres etapas de precalentamiento es el siguiente:

Primera etapa (electrofiltro)

Flujo de entrada (kcal/kg de crudo tratado): 282 (punto D, gases) + 18 (punto D, crudo) + 24 (punto A, crudo) = 324.

Flujo de salida (kcal/kg de crudo tratado): 166 (punto B, gases) + 158 (punto C, crudo) = 324.

Segunda etapa (ciclón I)

10 Flujo de entrada (kcal/kg de crudo tratado): 386 (punto E, gases) + 26 (punto E, crudo) + 158 (punto C, crudo) = 570.

Flujo de salida (kcal/kg de crudo tratado): 282 (punto D, gases) + 18 (punto D, crudo) + 270 (punto F, crudo) = 570.

Tercera etapa (ciclón II)

Flujo de entrada (kcal/kg de crudo tratado): 270 (punto F, crudo) + 372 (punto G, gases) + 27 (punto G, crudo) = 669.

Flujo de salida (kcal/kg de crudo tratado): 386 (punto E, gases) + 26 (punto E, crudo) + 256 (punto H, crudo) = 668.

15 La diferencia entre el valor del flujo de entrada y del flujo de salida (1 kcal/kg de clínker) que se observa en la tercera etapa se debe a las aproximaciones del cálculo.

Los valores de las temperaturas de los flujos gaseosos y del polvo previamente indicados muestran que el intercambio de calor que se puede obtener con el equipo según la presente invención es comparable al de un precalentador de suspensión ciclónico de 6 etapas de la técnica actual. En particular, los cálculos del ejemplo indican que en el equipo según la presente invención el equilibrio térmico entre el crudo precalentado y los gases de combustión a la salida del electrofiltro se alcanza a una temperatura de aproximadamente 308°C. Este valor es comparable al alcanzado por el crudo después de 3-4 etapas de ciclón en un precalentador de 6 etapas en una planta de producción de clínker convencional. La posibilidad de usar un precalentador de suspensión que tiene hasta un máximo de 3-4 etapas ciclónicas menos significa una reducción de altura de la estructura de soporte del equipo de precalentado de hasta aproximadamente 45-50 m, puesto que el electrofiltro se instala a nivel de suelo y el transporte del polvo desde el electrofiltro hasta el precalentador ciclónico de 3 etapas se realiza mediante un sistema mecánico o neumático (elevador).

EJEMPLO 2

30 Se probó un equipo según la presente invención que comprendía un precalentador de suspensión ciclónico de 4 etapas, un electrofiltro y un sistema de reducción de NO_x.

Los gases de combustión purificados que salen del electrofiltro se sometieron a un tratamiento de reducción catalítico selectivo en un dispositivo SCR adecuado. La reducción catalítica selectiva se llevó a cabo a una temperatura de aproximadamente 320°C, en presencia de NH₃ como agente reductor (100 – 150 mg/Nm³, valor referido a los gases anhidros y a 10% en volumen de O₂). El amoníaco estaba presente en los gases de combustión, ya que se deriva de las materias primas.

Los gases de combustión purificados que salen del electrofiltro y se alimentan al dispositivo SCR tienen una concentración de polvo (crudo) de aproximadamente 5 g/Nm³ y una temperatura de aproximadamente 350°C. En los gases de combustión había también una alta concentración de SO₂ (100 – 200 mg/Nm³, valor referido a los gases anhidros y a 10% en volumen de O₂).

40 En las pruebas de la eficiencia en la reducción de la cantidad de NO_x, se evaluaron el consumo de energía eléctrica para limpiar el catalizador con aire comprimido, las pérdidas de carga provocadas por el atascamiento del catalizador, cuánto tiempo dura el catalizador y la aparición de problemas de funcionamiento en el horno rotatorio.

Los resultados obtenidos en las pruebas del equipo previamente mencionado (indicado en la tabla 1 como “equipo de la presente invención”) se muestran en la tabla 1 posterior junto con los datos relativos a un tratamiento SCR de gases de combustión de una planta de producción de clínker de tipo convencional (indicada en la tabla 1 como “equipo convencional”). En el equipo convencional, los gases de combustión sometidos al tratamiento SCR provenían de un precalentador de suspensión ciclónico de 5 etapas y tenían una temperatura de aproximadamente 310°C. La concentración de polvo en los gases tratados en el sistema SCR era mayor de 70 g/Nm³. En los gases de

combustión del equipo convencional había también pequeñas concentraciones de NH₃ y SO₂ derivados de las materias primas. Se añadió luego más NH₃ al flujo gaseoso tratado para conducir el proceso SCR en condiciones tan cercanas como fuera posible a las del equipo según la presente invención.

Tabla 1

5

Parámetro	Unidad	Equipo de la presente invención	Equipo convencional
Temperatura	°C	320	310
Eficiencia en la reducción de los NO _x	%	99	>90
Sistema de limpieza	kWh/t _{clinker}	0,2 (discontinuo)	2 (continuo)
Vida del catalizador	—	>5 años	3-5 años
Interrupciones en el funcionamiento del horno rotatorio	—	Ninguna	Frecuentes
Pérdidas de carga	—	Según diseño	Aumentando progresivamente debido al atascamiento del lecho catalítico

Los resultados de la tabla 1 demuestran que el equipo y el procedimiento objeto de la presente invención permiten también que la eficacia del sistema de tratamiento SCR mejoren con respecto a un tratamiento análogo insertado en una planta convencional de producción de clínker.

10 Los resultados muestran también cómo el equipo de la presente invención se caracteriza por una excelente regularidad en su funcionamiento y por un bajo consumo de energía asociado con la limpieza del catalizador.

Finalmente, vale la pena notar que una modesta retirada de polvo de los gases de combustión por medio del electrofiltro (hasta concentraciones del orden de un gramo) es suficiente para obtener un aumento sustancial en la eficiencia del dispositivo SCR.

15

REIVINDICACIONES

1. Equipo para la producción de clínker a partir del crudo de materias primas, que comprende
 - un horno rotatorio (8);
 - un precalentador ciclónico multietapa (9) conectado corriente abajo de dicho horno rotatorio (8) respecto de la dirección del flujo de los gases (11) de la combustión que tiene lugar en dicho horno (8);
 - un electrofiltro (10) conectado corriente abajo de dicho precalentador (9) respecto de dicha dirección de flujo de los gases de combustión (11);

caracterizado por que comprende una primera válvula de entrada (17) para la alimentación de crudo a dichos gases de combustión (11) estando colocada dicha entrada (17) corriente abajo de dicho precalentador (9) y corriente arriba de dicho electrofiltro (10) respecto de dicha dirección de flujo de los gases de combustión (11) y por que comprende una segunda válvula de entrada (18) para la alimentación del crudo parcialmente precalentado (14) procedente de dicho electrofiltro (10) a dicho precalentador (9), comprendiendo además dicho equipo medios para purificar los gases de combustión limpios de polvo que salen del electrofiltro de otros contaminantes y medios para recuperar su calor, de forma que los medios para purificar los gases de combustión limpios de polvo que salen del electrofiltro comprenden medios para disminuir la cantidad de NO_x y/o un dispositivo de disminución de la cantidad de óxidos de azufre, en particular SO₂.
2. Equipo según la reivindicación 1 que comprende además un precalcinador.
3. Equipo según la reivindicación 1 en el que los medios para disminuir la cantidad de NO_x son un dispositivo para la reducción catalítica selectiva que funciona con aditivos reductores.
4. Equipo según una cualquiera de las reivindicaciones 1-3 en el que el dispositivo de disminución de la cantidad de óxidos de azufre, en particular SO₂, es un dispositivo para la inyección en los gases de combustión limpios de polvo de compuestos a base de óxido de calcio y/o de hidróxido de calcio.
5. Equipo según una o más de las reivindicaciones 1 a 4 en el que los medios para recuperar el calor contenido en los gases de combustión comprenden un intercambiador de calor y/o una torre de acondicionamiento.
6. Equipo según una o más de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la segunda válvula de entrada (18) se proporciona en un punto intermedio entre dos ciclones, preferiblemente entre el primer y el segundo ciclones.
7. Equipo según una o más de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la longitud del recorrido que conecta la entrada (17) del crudo (22) en los gases de combustión (11) con la entrada (13) en el electrofiltro (10) del crudo parcialmente precalentado (14) en suspensión es tal que el crudo parcialmente precalentado (14) que entra en el precalentador (9) tiene una temperatura comprendida en el intervalo 250 – 400°C, preferiblemente 270 – 360°C.
8. Procedimiento mejorado para la producción de clínker a partir de crudo en un equipo que comprende un horno rotatorio (8), opcionalmente un precalcinador, un precalentador ciclónico multietapa (9) y un electrofiltro (10), de forma que dicho proceso comprende las siguientes etapas de funcionamiento:
 - a) hacer que los gases de combustión (11), procedentes del horno rotatorio (8), fluyan desde el fondo hasta la parte superior del precalentador (9);
 - b) mezclar el crudo (22) con los gases de combustión (11) que salen del precalentador (9), precalentando el crudo (14) mediante su contacto con los gases de combustión (11) y formando un flujo gaseoso que contiene un crudo parcialmente precalentado (14) en suspensión;
 - c) alimentar el flujo obtenido en la fase b) al electrofiltro (10) y separar el crudo parcialmente precalentado (14) del flujo de gases de combustión limpios de polvo (15);
 - d) alimentar el crudo parcialmente precalentado (14) obtenido en la etapa c) al precalentador (9) y precalentar el crudo (14) por contacto en contracorriente con los gases de combustión (11) que fluyen desde el fondo hacia la parte superior;
 - e) alimentar el crudo precalentado (16) procedente de la fase d) al horno rotatorio (8) para la producción posterior de clínker;
 - f) someter los gases de combustión limpios de polvo (15) que salen del electrofiltro (10) a tratamientos adicionales de purificación de contaminantes y a tratamientos de recuperación de calor, de modo que la fase f) comprende un tratamiento de disminución de la cantidad de NO_x y/o un tratamiento de disminución de la cantidad de óxidos de azufre, en particular SO₂.

9. Procedimiento según la reivindicación 8 en el que el crudo parcialmente precalentado (14) que se alimenta al precalentador (9) en la etapa d) tiene una temperatura comprendida en el intervalo 250 – 400°C.
10. Procedimiento según la reivindicación 9 en el que el crudo parcialmente precalentado (14) que se alimenta al precalentador (9) en la etapa d) tiene una temperatura comprendida en el intervalo 270 – 360°C.
- 5 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en el que el tratamiento de disminución de la cantidad de NO_x es un proceso de reducción catalítica selectiva.
12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8-11, en el que el tratamiento de disminución de la cantidad de óxidos de azufre se realiza mediante la inyección en los gases de combustión limpios de polvo (15) de compuestos a base de óxido de calcio y/o de hidróxido de calcio.
- 10 13. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 10 a 12 en el que la etapa f) comprende un tratamiento de recuperación del calor contenido en los gases de combustión limpios de polvo (15) por medio de al menos un intercambiador de calor y/o una torre de acondicionamiento (21).

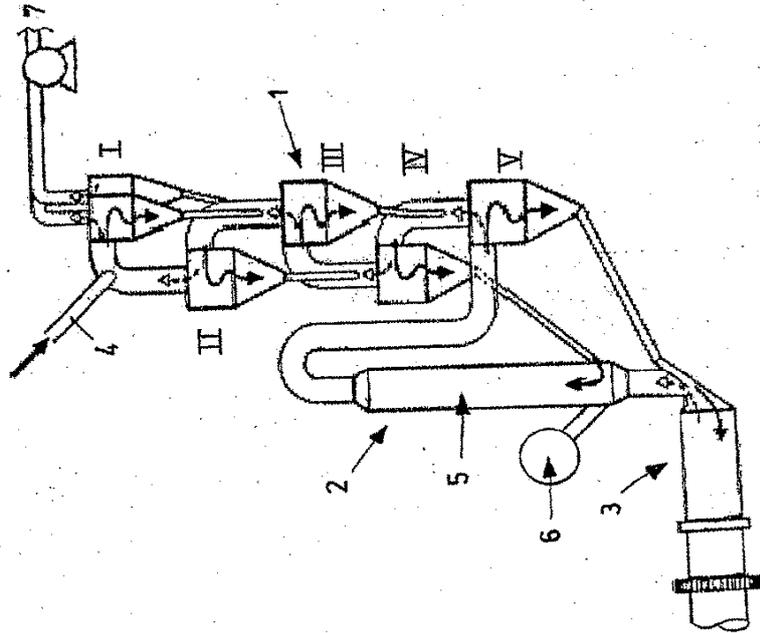


Fig. 1B

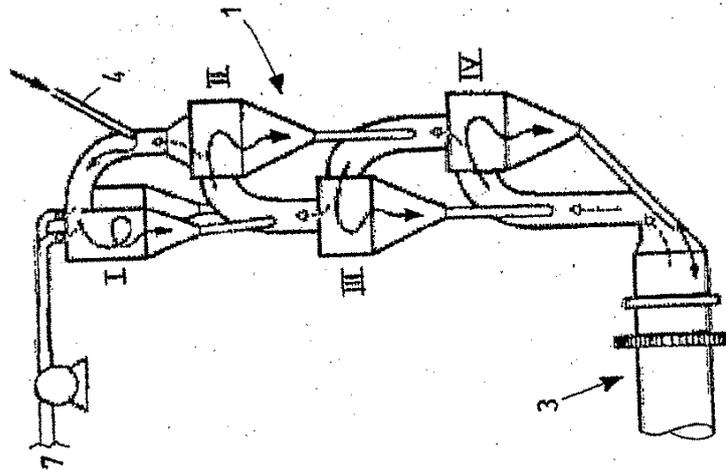


Fig. 1A

