

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 011 958**

51 Int. Cl.:

B01J 8/00 (2006.01)

B65G 53/00 (2006.01)

B65G 53/06 (2006.01)

B65G 53/34 (2006.01)

B65G 53/66 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.11.2017 PCT/EP2017/080642**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.05.2018 WO18096167**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.11.2017 E 17808057 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2025 EP 3544722**

54 Título: **Proceso para transportar neumáticamente un material en polvo**

30 Prioridad:

28.11.2016 WO PCT/EP2016/079012

28.11.2016 US 201615361618

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.04.2025

73 Titular/es:

**S.A. LHOIST RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT
(100.00%)**

**Rue Charles Dubois 28
1342 Ottignies-Louvain-la-Neuve, BE**

72 Inventor/es:

**BAQUET, HUGUES;
HEISZWOLF, JOHAN;
LETOUZEY, JOËL;
LYONS, DAVID;
FITZGERALD, HOWARD, BRAXTON;
METZ, CHAD, TIMOTHY y
FILIPPELLI, GREGORY, M.**

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 3 011 958 T3

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

DESCRIPCIÓN

Proceso para transportar neumáticamente un material en polvo

- 5 La presente invención se refiere a un proceso para el transporte neumático de un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, que comprende las etapas definidas en la reivindicación 1.

10 Durante el transporte neumático de un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, entre un depósito de almacenamiento de material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, y una zona receptora, se producen fluctuaciones de caída de presión en cualquier momento, con mucha frecuencia y son difíciles de controlar. Las fluctuaciones en la caída de presión se pueden deber a una serie de factores intrínsecos del proceso de transporte neumático, o a un acontecimiento externo.

15 Dichas fluctuaciones de caída de presión perturban todo el transporte neumático del material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, que se va a transportar, provocando diferentes tipos de perturbaciones. Entre otras perturbaciones, se puede encontrar el hecho de que las fluctuaciones en la caída de presión provocan una modificación de la velocidad de transporte del material/sorbente en polvo.

20 Los flujos de material/sorbente en polvo tienen una velocidad de saltación por debajo de la que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, comienza a sedimentarse en el tubo de transporte neumático mientras que el fluido de transporte soplado por sopladores recibe un valor nominal seguro de velocidad, mayor que la velocidad de saltación, para evitar que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, se sedimente en el interior de la tubería de transporte neumático.

25 Desgraciadamente, muchas fluctuaciones ocurren en cualquier momento durante un transporte neumático de un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, lo que provoca la inestabilidad de la caída de presión en el interior de la tubería de transporte neumático.

30 De hecho, los sopladores se caracterizan por una curva entre la caída de presión y el caudal. La caída de presión, es decir, la diferencia de la presión en el interior de la zona receptora y la presión a la entrada de la primera tubería de transporte, es la impuesta por la planta dentro de la cual se realizará el transporte neumático, y la curva de caracterización del soplador da como resultado un caudal en el transporte neumático del material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, que depende del valor de la presión que existe en el interior de la planta.

35 En el momento en que se produce una pequeña fluctuación en la caída de presión (causada, por ejemplo, entre otros, por un cambio en las condiciones atmosféricas, un cambio en la temperatura del fluido de transporte, una reducción de una sección de tubería que puede ser debida a una obstrucción, una obstrucción parcial, un objeto que perturba el flujo del soplador, carga discontinua de un material en polvo, en concreto con una válvula rotativa, corte de energía eléctrica o fluctuación en la tensión (o corriente), soplado de hollín, cambio en la carga (capacidad), cambio de las condiciones de funcionamiento en el depurador de gases, pulsos del filtro de mangas, golpeteo del precipitador electrostático, variaciones en la inyección de combustible, variaciones en la calidad del combustible (por ejemplo, energía, contenido de humedad y cenizas), cambios de velocidad de la tubería principal, tiro forzado o tiro inducido, ventiladores de la planta pero también falta de homogeneidad del caudal del material en polvo, en concreto del sorbente en polvo, dosificado y alimentado a la tubería de transporte neumático, aglomerados de material en polvo en el flujo de aire por el medio de dosificación, etc.), la caída de presión comienza a disminuir o aumentar sin que sea posible controlarla con la suficiente rapidez como para que no se altere el transporte neumático del sorbente/material en polvo. Estas fluctuaciones en la presión en la zona receptora de los gases de combustión del proceso pueden afectar directamente al caudal de gas utilizado en la tubería de transporte neumático antes de la inyección, debido a que el control de los sopladores, si los hay, normalmente no es lo suficientemente reactivo. En consecuencia, se produce un cambio en el régimen del flujo, lo que conduce a un cambio en la relación de masa del material en polvo con respecto al fluido de transporte. Como consecuencia, por ejemplo, entre otros, cuando aumenta la caída de presión, la velocidad neumática o el caudal del fluido de transporte se reduce de tal manera que la velocidad del fluido de transporte posiblemente alcanza un valor inferior al valor de la velocidad nominal segura, lo que hace, por tanto, que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, transportado neumáticamente, se sedimente en el interior de la tubería de transporte neumático. La sedimentación del material en polvo, en concreto del sorbente en polvo, hará que aumente la caída de presión, lo que conducirá a un caudal de gas aún menor. Es evidente que, en el caso de sistemas en los que el caudal de gas no se controla de manera activa o en el caso de sistemas en los que el caudal de gas no se puede controlar con la suficiente rapidez, un sistema de transporte neumático de este tipo es inestable.

60 Por el contrario, en el caso de una disminución de la caída de presión, un caudal demasiado elevado puede provocar que el material en polvo se adhiera a las paredes de las tuberías debido a la mayor fuerza de

impacto del material en polvo en las zonas en las que hay cambios de las secciones transversales o de dirección.

5 Por lo tanto, el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, empieza a acumularse en el interior de la tubería de transporte neumático, provocando a su vez fluctuaciones de la caída de presión a medida que se reduce el diámetro de paso disponible de la tubería para el transporte neumático, lo que provoca un aumento de la caída de presión que, a su vez, tiene consecuencias en el transporte neumático.

10 Tal como se puede entender, la más pequeña fluctuación en la caída de presión, que ocurre cualquiera que sea el nivel de optimización del diseño del transporte neumático, tendrá un impacto importante en la eficiencia del transporte neumático del material en polvo, en concreto del sorbente en polvo, en el interior de la tubería de transporte neumático.

15 En ocasiones, la presión en el conducto de los gases de combustión variará, dependiendo de la operación del proceso (a continuación se proporcionan ejemplos de la causa de estas fluctuaciones de presión). Dependiendo del medio de dosificación, las fluctuaciones de presión de los gases de combustión causarán fluctuaciones del flujo de gas en el sistema de transporte neumático.

20 Este fenómeno de fluctuaciones se produce en cualquier fluido de transporte cuando es soplado. El fenómeno se amplifica, por supuesto, aún más cuando se transporta un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, puesto que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, no puede recuperar fácilmente la caída de presión correcta tan pronto como comienza a acumularse en el interior de la tubería de transporte neumático. De hecho, una vez que el material en polvo comienza a depositarse cuando la velocidad del gas ha caído por debajo de la velocidad de saltación, dicho polvo no se reintroduce fácilmente.

25 La presente invención resuelve como mínimo una parte de estos inconvenientes, proporcionando un proceso que permite la mejora eficiente del transporte neumático de un sorbente en polvo en una tubería de transporte neumático entre un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, un depósito de almacenamiento y una zona receptora.

30 Según la presente invención, por la expresión zona receptora, se entiende uno o varios de los siguientes: un horno o una cámara de postcombustión o una zona de postcombustión u otro recipiente de almacenamiento para recoger el sorbente en polvo, un canal en el que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, será inyectado mediante transporte neumático, tal como un conducto de gases de combustión (es decir, en
35 un horno o conectado a un horno, en un intercambiador de calor o conectado a un intercambiador de calor, en una zona de combustión o conectado a una zona de combustión, en una cámara de postcombustión o conectado a una cámara de combustión, en una zona de postcombustión o conectado a una zona de combustión y similares), una tubería en el interior de una planta, dispositivos de filtrado, tales como precipitadores electrostáticos, filtros de mangas, depuradores de gas, tales como depuradores secos, semihúmedos (absorbentes de secado por pulverización) o húmedos...; para los dispositivos de filtrado o los
40 depuradores de gas, el punto de inyección puede estar especialmente en el conducto, antes, o en la entrada de los mismos.

45 Por la expresión transporte neumático de material en polvo, se entiende, en el ámbito de la invención, el transporte neumático por presión negativa o por presión positiva, el transporte neumático de material en polvo como fase densa o fase filamentosa o fase diluida, en concreto fase diluida, en un fluido de transporte, o como fase discontinua en un fluido de transporte.

50 Por la expresión "conectado a", se entiende que un elemento está conectado a otro elemento directa o indirectamente, es decir, que los elementos están en comunicación entre sí pero se pueden introducir otros elementos entre ellos. Aunque el término "sónico" se utiliza a lo largo de la descripción, la presente invención está limitada a dispositivos de infrasonidos y ondas de infrasonidos.

55 Para solucionar el problema mencionado anteriormente, se da a conocer, según la presente invención, un proceso para el transporte neumático de un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, en el que un dispositivo sónico genera ondas sónicas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora, y proporciona una neutralización de la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático hasta dicha zona receptora. Las Patentes de la técnica anterior que implican el uso de ondas infrasónicas son, por ejemplo, CN 205 346 331 U,
60 FR 2 941 388 A1 y US 5 860 187 A.

65 De hecho, se ha descubierto sorprendentemente que, para los flujos turbulentos considerados en este caso, las ondas sónicas generan un aumento de la caída de presión, y que las ondas sónicas tienen la capacidad de neutralizar las fluctuaciones de presión en dicha primera tubería de transporte y/o en dicha zona receptora.

Las ondas sónicas se utilizan en ocasiones para desaglomerar partículas acumuladas, tales como partículas de sorbente en polvo, o para prevenir, limpiar o eliminar las partículas acumuladas en equipos grandes que emplean flujos sólidos y gas. En estas aplicaciones, las ondas sónicas generan turbulencia en zonas estancadas, es decir, zonas en las que la velocidad del gas es casi cero, lo que resulta en condiciones de flujo laminar, o hacen que las paredes de los conductos vibren mecánicamente para evitar la adherencia de partículas. Estos dos mecanismos evitarán la sedimentación y la adherencia de partículas a la pared del conducto. No obstante, según la presente invención, las ondas sónicas se utilizan para aumentar la caída de presión del flujo de transporte neumático y las ondas sónicas según la presente invención se utilizan de tal manera que son capaces de neutralizar la etapa de fluctuación de la caída de presión, minimizando de este modo las perturbaciones que provocan la acumulación de material en polvo en dicho transporte neumático, en lugar de limpiar o actuar retroactivamente sobre la acumulación de partículas.

Según la presente invención, dicho fluido de transporte tiene un flujo que comprende una capa límite a lo largo de dicha pared de tubería cuyo grosor de la capa límite cambia en zonas de sección transversal variable de dicha tubería y zonas donde cambia la dirección.

Ventajosamente, según el proceso de la invención, el soplador está conectado a dicha primera tubería de transporte neumático y sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático, pero también dicho fluido de transporte, como mínimo parcialmente, a través de dicho dispositivo sónico.

De hecho, el hecho de que un soplador sople fluido de transporte en el interior de dicha tubería de transporte neumático, pero también como mínimo parcialmente a través de dicho dispositivo sónico, aumenta aún más la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático, y es más eficiente en la neutralización de las fluctuaciones de la caída de presión.

En una realización concreta, la primera tubería de transporte neumático es una tubería rígida, en concreto de acero inoxidable o al carbono. Esta realización concreta es aún más eficaz cuando se combina con el soplador que sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería rígida de transporte neumático.

En otra realización concreta, el primer tubo de transporte neumático es una tubería flexible, en concreto de polímero como el poliuretano.

De hecho, según esta realización preferente, las fluctuaciones de la caída de presión son neutralizadas sorprendentemente por las ondas sónicas que generan un aumento de la caída de presión.

La adherencia de partículas finas de material en polvo con un tamaño promedio de partícula d_{50} inferior a $100\text{ }\mu\text{m}$ sobre la pared de una tubería de transporte neumático rígida se está produciendo en zonas tales como curvas, codos, reducciones o ensanchamientos de sección de dicha tubería. Una vez que se produce la adherencia de las partículas a la pared de la tubería, si el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, es cal hidratada o una mezcla de sorbentes que comprende cal hidratada, se produce la carbonatación de la cal hidratada, lo que resulta en la formación de una capa dura que es difícil de eliminar.

El problema de la adherencia a objetos sólidos es cada vez más importante para partículas de diámetro de partícula decreciente debido a la mayor contribución de las fuerzas electrostáticas en comparación con las fuerzas de fricción, impulso y gravedad. Las partículas de sorbente en polvo con un diámetro $<100\text{ }\mu\text{m}$ se clasifican, en general, como cohesivas, según la clasificación de Geldart (véase el documento de Cocco, R.; Reddy-Karri, S. B.; Knowlton, T. Introduction to Fluidization. AIChE CEP 2014, n.º 21-29 de noviembre; Geldart, D. Types of Gas Fluidization. Powder Technol. 1973, 7 (5), 285-292) (Geldart Powder Group C) y sus propiedades de flujo pueden ser evaluadas en detalle utilizando la clasificación de función de flujo según Jenicke (véanse los documentos de CAGLI, A. S.; DEVECI, B. N.; OKUTAN, C. H.; SIRKECI, D. A. A.; TEOMAN, E. Y. Flow Property Measurement Using the Jenike Shear Cell for 7 Different Bulk Solids. Proc. Eur. Congr. Chem. Eng. 2007, n.º de 16-20 de septiembre; Jenicke, A. W. Gravity Flow of Bulk Solids. Bull. Univ. Utah 1961, 52 (29), 1-309; Jenicke, A. W. Storage and Flow of Solids. Bull. Univ. Utah 1964, 53 (26), 1-198; Pendyala, R.; Jayanti, S.; Balakrishnan, A. R. Flow and Pressure Drop Fluctuations in a Vertical Tube Subject to Low Frequency Oscillations. Nucl. Eng. Des. 2008, 238 (1), 178-187). Con la función de flujo de Jenicke, se mide la cohesión interna del polvo, y esto se puede considerar como un buen indicador de las propiedades de adherencia de un polvo.

Para el problema de adherencia del transporte neumático de sorbente en polvo en tuberías rígidas, los mecanismos de limpieza descritos anteriormente no pueden explicar la prevención de la adherencia.

En la aplicación convencional de ondas sónicas, las ondas se utilizan para crear turbulencia en sistemas en los que la velocidad del gas es casi cero dentro de las zonas estancadas del equipo.

La turbulencia de un flujo de fluido en un tubo se puede evaluar con el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

En donde ρ es la densidad del fluido de transporte (kg/m^3), v es la velocidad del fluido de transporte (m/s), d es el diámetro del tubo (m) y μ es la viscosidad del fluido de transporte (Pa·s). Si el número de Reynolds es mayor que 2000 (es decir, $Re > 2000$), el fluido de transporte se considera turbulento.

Para el transporte normal de sorbente en polvo, el fluido de transporte puede ser aire ambiente, el diámetro del tubo es de aproximadamente 0,10 m (4 pulgadas) y la velocidad del aire de transporte es habitualmente de 20 m/s. En estas condiciones, el número de Reynolds es superior a un millón, lo que implica que el fluido es altamente turbulento.

Esto significa que, en el caso del transporte neumático, las ondas sónicas no sirven para proporcionar turbulencia local a las zonas de flujo laminar para iniciar el mecanismo de limpieza o la eliminación de partículas acumuladas y, por lo tanto, no pueden ser responsables de neutralizar las fluctuaciones en la caída de presión.

Además, no se espera un aumento en la caída de presión debido al flujo de aire sónico para flujos altamente turbulentos (véase el documento de Pendyala, R.; Jayanti, S.; Balakrishnan, A. R. Flow and Pressure Drop Fluctuations in a Vertical Tube Subject to Low Frequency Oscillations. Nucl. Eng. Des. 2008, 238 (1), 178-187).

Mientras que para el trabajo de los conductos y las paredes de los equipos, el movimiento de las piezas metálicas es posible debido al gran tamaño de las piezas y/o a paredes más delgadas que, por lo tanto, tienen una resistencia a la flexión menor y, por lo tanto, son más deformables, dicho movimiento no es posible en el caso de tubos de acero o polímero (plástico) de diámetro comprendido entre 0,10 y 0,20 m (entre 4 y 8 pulgadas) utilizados como primera tubería de transporte neumático. La combinación de área superficial y grosor de pared de la tubería de transporte neumático evita cualquier movimiento radial significativo debido a las ondas sónicas.

Por lo tanto, no se espera que la aplicación de ondas sónicas neutralice las fluctuaciones en la caída de presión, evitando de este modo también la adherencia del material en polvo, en concreto las partículas de sorbente en polvo, a las paredes rígidas del tubo. Este resultado no obvio es causado por la forma en que son generadas las ondas sónicas, como en una realización preferente, a través de un sistema de soplado en contraste con los sistemas convencionales en los que se utiliza un generador de sonido de extremo cerrado. La consecuencia de la generación de ondas sónicas mediante soplado es una mezcla más intensa de la mezcla de gas y sólido por la naturaleza de arranque-parada del flujo.

En la presente invención, el dispositivo sónico de generación de ondas sónicas es un dispositivo de infrasonidos de generación de ondas infrasónicas.

En otra realización preferente adicional del proceso según la presente invención, cuando dicho dispositivo sónico proporciona una acción de neutralización en la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora, dicho dispositivo sónico proporciona una acción de suavizado y/o una acción de enmascaramiento que también se puede denominar acción de compensación, en la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora.

En una realización concreta del proceso según la presente invención, se generan ondas infrasónicas en el interior de un dispositivo de infrasonidos que comprende una primera cámara y una segunda cámara, estando ambas primera y segunda cámaras conectadas entre sí por un tubo, siendo generadas dichas ondas infrasónicas por un excitador en el interior de la primera cámara que proporciona pulsos de infrasonidos a dicho fluido de transporte soplado, como mínimo parcialmente, en el interior de dicha primera cámara, siendo transportadas dichas ondas infrasónicas generadas a través del tubo para alcanzar la segunda cámara.

Más preferentemente, en el proceso según la presente invención, la primera cámara está dividida en un primer compartimento y un segundo compartimento, estando dicho primer compartimento en conexión con dicho segundo compartimento a través de un orificio pasante, comprendiendo dicho primer compartimento un canal interno en cuyo interior se hace que se desplace un pistón móvil desde una primera posición a una segunda posición, y desde dicha segunda posición a dicha primera posición, mediante una fuente de alimentación, situada externamente con respecto a la primera cámara y que forma el excitador, estando dicho canal interno instalado concéntricamente en el interior de dicho primer compartimento, siendo dichas ondas infrasónicas generadas por el pistón en movimiento y transportadas por dicho fluido de transporte desde dicho primer compartimento, a dicho segundo compartimento, a través del orificio pasante antes de ser

transportadas a través del tubo para alcanzar la segunda cámara. El fluido de transporte puede ser soplado a través del pistón.

5 En otra realización ventajosa, se incluyen controladores de rotación para la fuente de alimentación del excitador (motor), para evitar frecuencias de trabajo inadecuadas y para aumentar la eficiencia y la seguridad.

En otra realización preferente, el dispositivo sónico crea un aumento de presión en la primera tubería de transporte neumático cerca del generador sónico de entre 20 y 200 mbar, en concreto de como mínimo 30 mbar, en concreto de como máximo 150 mbar.

10 En una realización ventajosa según la presente invención, el proceso comprende, además, una etapa de derivación de una parte de dicho fluido de transporte soplado por el soplador antes de entrar en el primer compartimento o conectado al primer compartimento, y de introducción en el interior de la segunda cámara.

15 En una realización concreta, el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo se selecciona del grupo que consiste en cal hidratada, dolomía hidratada o semihidratada, piedra caliza, dolomita, cal viva, cal viva dolomítica, carbonato o bicarbonato de sodio, dihidrato de sesquicarbonato de sodio (también conocido como Trona), haloisita, sepiolita, un compuesto orgánico carbonoso seleccionado de entre carbón activo y coque de lignito, cenizas volantes o una mezcla de cualquiera de estos compuestos.

20 En una realización concreta, el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, es preferentemente un sorbente en polvo principalmente mineral, lo que significa que puede ser principalmente de naturaleza mineral, pero que, habitualmente, puede contener el 30 % en peso o menos, en concreto el 20 % en peso o menos, más concretamente el 15 % o menos de compuesto orgánico carbonoso seleccionado de entre carbón activo y coque de lignito con respecto al peso del sorbente en polvo.

25 El material en polvo, en concreto el sorbente en polvo es preferentemente un sorbente mineral principalmente cálcico que contiene una cantidad de sorbente cálcico mayor del 50 % en peso, en concreto mayor del 70 % con respecto al peso del sorbente en polvo, preferentemente elegido en el grupo que consiste en cal hidratada, dolomía hidratada o semihidratada, piedra caliza, dolomita, cal viva, cal viva dolomítica o una mezcla de cualquiera de estos compuestos.

30 En otra realización preferente adicional, dicho fluido de transporte es aire, gas inerte, gases de escape o una mezcla de los mismos.

35 En otra realización preferente, las ondas sónicas, en concreto las ondas infrasónicas, transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de material en polvo también entran en contacto con dicho medio de dosificación.

40 En otra realización preferente, las ondas sónicas, en concreto las ondas infrasónicas, se desplazan en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de material en polvo y, preferentemente, también se desplazan (o se distribuyen) hasta la zona receptora.

45 En otra realización preferente en el proceso según la presente invención, las ondas sónicas, en concreto las ondas infrasónicas, transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de material en polvo se evita que lleguen al soplador debido a una trampa de graves de Helmholtz conectada a dicha primera cámara o, preferentemente, en la tubería entre el soplador y la primera cámara.

50 En una realización concreta según la presente invención, el proceso comprende, además, un modo de emergencia y un modo de funcionamiento, en el que en el modo de emergencia, se impide que el fluido de transporte soplado entre en dicha primera cámara y es desviado y soplado directamente a dicha primera tubería de transporte neumático, aguas abajo del dispositivo sónico, y en el que en el modo de funcionamiento, el fluido de transporte soplado es proporcionado como mínimo parcialmente a dicha primera cámara.

55 La presente invención también se refiere a un proceso para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión que comprende las etapas de:

60 - quemar un combustible y/o un material que se va a quemar, o calentar un material que se va a calentar o fundir, produciendo gases de combustión en una zona receptora,
- transportar neumáticamente un sorbente en polvo previsto para capturar dichos compuestos contaminantes, según el proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, siendo dicha zona receptora un conducto de gases de combustión,

- capturar compuestos contaminantes mediante dicho sorbente en polvo en el interior de dicho conducto de gases de combustión, empobreciendo de este modo los gases de combustión, en compuestos contaminantes.

5 Específicamente, el proceso para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión comprende las etapas de:

- quemar combustible y/o un material que se va a quemar, o calentar un material que se va a calentar o fundir, produciendo gases de combustión en una zona receptora,
- 10 - transportar neumáticamente un sorbente en polvo en una primera tubería de transporte neumático desde un depósito de almacenamiento de sorbente en polvo hasta una zona receptora que es un conducto de gases de combustión, comprendiendo dicha primera tubería de transporte neumático una pared de la tubería, y estando conectada a dicho depósito de almacenamiento de sorbente en polvo y a dicha zona receptora, siendo transportado dicho sorbente en polvo neumáticamente en el interior de dicha primera tubería de
- 15 transporte neumático y hacia dicho conducto de gases de combustión mediante un flujo generado por un soplador conectado a dicha primera tubería de transporte neumático, y que sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático en el que se transportan partículas de dicho sorbente en polvo,
- 20 - una etapa de dosificación de sorbente en polvo mediante de un medio de dosificación para dosificar una cantidad de dicho sorbente en polvo cuando entra desde dicho depósito de almacenamiento de sorbente en polvo a dicha primera tubería de transporte neumático, estando dicha primera tubería de transporte neumático conectada a dicho depósito de almacenamiento de sorbente en polvo a través de dicho medio de dosificación,
- 25 - una etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicho conducto de gases de combustión,
- una captura de compuestos contaminantes mediante dicho sorbente en polvo en el interior de dicho conducto de gases de combustión, empobreciendo de este modo los gases de combustión, en compuestos contaminantes.

30 Según la presente invención, combustible puede significar un gas, un líquido, una pasta o un sólido, en concreto carbón y/o petróleo.

Según la presente invención, por las expresiones material que se va a quemar, o material que se va a calentar o fundir, se entiende, entre otros, material de desecho (doméstico o industrial o clínico), material de silicato para producir cemento o vidrio mediante el calentamiento de la materia prima a calentar, piedra caliza o caliza dolomítica (dolomita), mineral de metal, en concreto mineral de hierro, ladrillos o azulejos y similares; el material que se va a calentar o quemar también puede ser material reciclado, tal como chatarra de acero, baterías...

40 Habitualmente, el tratamiento de gases, en concreto gases de combustión, requiere la reducción de gases ácidos, en concreto HCl, SO₂, SO₃ y/o HF, reducción que puede ser llevada a cabo en condiciones secas, mediante la inyección de una sustancia, a menudo mineral, seca y en polvo, en un flujo de gases de combustión o a través de un lecho filtrante que comprende partículas sólidas fijas o en movimiento. En este caso, el compuesto en polvo comprende en general un compuesto a base de calcio y magnesio, en concreto

45 cal, preferentemente cal apagada o hidratada o un compuesto de sodio tal como un carbonato o bicarbonato de sodio. También se pueden utilizar otros compuestos, en concreto los utilizados para reducir dioxinas, furanos y/o metales pesados, incluido el mercurio, por ejemplo sustancias carbonosas tales como carbón activo o coque de lignito o sustancias minerales, tales como las basadas en filosilicatos, tal como sepiolita o haloisita o similares.

50 Se han desarrollado diversas soluciones para mejorar la captura de compuestos contaminantes, tal como por ejemplo la solución descrita en la Patente WO2014/206880. La Patente WO2014/206880 describe un dispositivo para inyectar un compuesto mineral en polvo en un conducto de gases de combustión, que comprende una fuente de compuesto en polvo, una tubería de inyección de compuesto en polvo, alimentada

55 por la fuente de compuesto en polvo y dispuesta de modo que desemboque en dicho conducto de gases. El dispositivo para inyectar un compuesto en polvo comprende, además, una fuente de fase acuosa líquida monofásica y, como mínimo, una tubería para inyectar una fase acuosa líquida monofásica en forma de gotitas. Según este documento, la tubería para inyectar una fase acuosa líquida monofásica está situada en un espacio periférico localizado alrededor de la cara externa de la tubería de inyección de compuesto en

60 polvo.

Otra solución se describe en el documento de Patente JPS61259747. Según este documento, un sorbente tal como cal apagada es alimentado al interior de un contactor sólido-gas en el que también se alimenta gas residual. El contactor sólido-gas comprende placas perforadas superpuestas. El gas residual se alimenta por

65 el lado inferior del contactor y saldrá del contactor aún más empobrecido en contaminantes capturados en la etapa superior del contactor después de haber pasado a través de las placas perforadas. El sorbente es

alimentado por encima del gas residual, pero debajo de las placas perforadas en el interior del contactor. Se genera un sonido de frecuencia ultrabaja en el aire y se introduce en el contactor para formar un contactor sólido-gas de lecho de corriente en chorro de múltiples etapas.

- 5 La emisión de contaminantes a la atmósfera está cada vez más regulada, y el nivel autorizado de compuestos contaminantes liberados en los gases de combustión se controla rigurosamente. Por esta razón, las industrias, denominadas en lo sucesivo "industrias de combustión" que utilizan quemadores tales como incineradores de basura, pero también las industrias que utilizan hornos tales como las industrias del cemento, las industrias de la cal y las industrias del vidrio, controlan cada vez más la emisión de compuestos
- 10 contaminantes en el tratamiento de los gases de combustión para cumplir con los requisitos medioambientales.

Desgraciadamente, aunque se toman muchas precauciones para reaccionar y proactuar para reducir el nivel de contaminantes en los gases de combustión, todas esas precauciones están causando fluctuaciones en el

15 transporte neumático del sorbente en polvo y, por lo tanto, deficiencias en la captura de contaminantes.

La presente invención resuelve como mínimo una parte de estos inconvenientes, dando a conocer un proceso que mejora la eficiencia de la captura de contaminantes de los gases de combustión, por lo que las fluctuaciones y, por lo tanto, las deficiencias en la captura de contaminantes, se reducen en lo posible.

20

Para resolver este problema, se da a conocer, según la presente invención, un proceso para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión, tal como se mencionó anteriormente, en el que un dispositivo sónico genera ondas sónicas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora, y proporciona una neutralización, en la etapa de fluctuación de la

25 caída de presión, en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora, siendo dicha zona receptora dicho conducto de gases de combustión.

Según la presente invención, la acción de neutralización sobre la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático provoca la mejora de la captura de compuestos contaminantes reduciendo las fluctuaciones no deseadas en el sorbente en polvo, en concreto el sorbente mineral en polvo, alimentado en el conducto de gases de combustión por ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte neumático de sorbente en

30 polvo.

De hecho, se ha encontrado sorprendentemente que las ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte neumático de sorbente en polvo tienen un impacto directo sobre las fluctuaciones en el transporte neumático de sorbente en polvo alimentado en el conducto de gases de combustión.

35

Se ha demostrado, según la presente invención, que la utilización apropiada de ondas sónicas, creando un aumento de la caída de presión en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo, puede resolver las fluctuaciones en el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, inyectado en el interior del conducto de gases de combustión.

40

Se ha demostrado que las ondas sónicas que se desplazan en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo evitan deficiencias en la captura de contaminantes en el interior del conducto de gases de combustión, neutralizando muy rápidamente las fluctuaciones en la caída de presión, evitando de este modo que las caídas de presión fluctuantes hagan que la velocidad de las partículas caiga por debajo de la velocidad de saltación, donde comenzarían a sedimentarse, y permitiendo que sean transportadas por el transporte neumático y, como consecuencia de

45

50 ello, que aún alcancen el conducto de gases de combustión.

De hecho, este efecto se logra mediante la combinación de la utilización adecuada de las ondas sónicas que crean un aumento de la caída de presión en la primera tubería de transporte neumático junto con la colisión

55 entre las partículas del sorbente en polvo y las ondas sónicas que tienen una frecuencia fluctuante de las ondas que cambian la ubicación de los antinodos y los nodos de vibración del sonido en la tubería.

Habitualmente, cuando comienza la obstrucción, el diámetro de la primera tubería de transporte neumático se reduce y esto también cambiará la relación de peso entre dicho fluido de transporte y dicho material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo, por la misma razón que se mencionó anteriormente.

60

Por lo tanto, según la presente invención, se ha demostrado que las ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo mejoran el nivel de captura de contaminantes neutralizando las fluctuaciones en la caída de presión en la primera tubería de transporte neumático, y garantizando de ese modo un caudal adecuado/optimizado de sorbente en polvo hacia el conducto de gases de combustión.

65

En una realización preferente del proceso según la presente invención, una etapa de fluctuación de las condiciones de funcionamiento de dicha etapa de quema de combustible y/o dicho material que se va a quemar o a calentar o a fundir, genera una primera señal y/o la etapa de fluctuación de la caída de presión en el interior de dicha primera tubería de transporte, comprendiendo, además, dicho proceso una etapa de ajuste de dicha cantidad de sorbente en polvo en respuesta a dicha primera señal y/o a dicha etapa de fluctuación de la caída de presión en el interior de dicha primera tubería de transporte.

Cada vez más, las industrias de combustión utilizan un analizador a la salida del conducto de gases de combustión, para medir el nivel de compuestos contaminantes (ejemplo de primera señal) y han puesto en marcha con el tiempo un bucle de control para controlar la cantidad de sorbente en polvo utilizado para capturar esos contaminantes. Por ejemplo, si el nivel de SO₂ comienza a aumentar, se aumentará la cantidad de sorbente en polvo para mejorar la captura de este contaminante. Si el nivel de SO₂ comienza a disminuir, se reducirá la cantidad de sorbente en polvo.

Otras "industrias de combustión" no utilizan el análisis continuo pero, como medida de precaución, ajustan la cantidad de sorbente en polvo en base a varios criterios y mediciones (primera señal), tales como el nivel de azufre en el combustible que se utilizará, el preanálisis o los datos sobre el nivel de cloruro o azufre presente en la basura que se va a quemar o el material que se va a calentar (mineral de metal, material de reciclaje...), en base al rendimiento esperado de la etapa de quema o de la etapa de calentamiento, la rotación de las personas que hacen funcionar el horno, el nivel de aire principal introducido en el horno para realizar la quema del material que se va a quemar, en base a la temperatura, la presión atmosférica, ... La cantidad de sorbente en polvo se fija entonces manualmente durante un período de tiempo predeterminado y se cambia cuando se produce un nuevo estado (primera señal).

Más concretamente, cuando surge una primera señal de los gases de escape de la quema del combustible y/o del material que se va a quemar, tal como por ejemplo un aumento del nivel de contaminantes, una disminución del nivel de contaminantes, la respuesta que se debe dar es cambiar la cantidad de sorbente en polvo que se debe introducir en el interior del conducto de gases de combustión. El cambio en la cantidad de sorbente en polvo que se insufla en el interior de la primera tubería de transporte neumático por medio del soplador produce un cambio en la relación de peso entre dicho fluido de transporte y dicho sorbente en polvo, que crea fluctuaciones en la caída de presión del transporte neumático, provocando de este modo fluctuaciones en el material en polvo, en concreto en el sorbente en polvo inyectado en el interior del conducto de gases de combustión.

En efecto, el cambio en la cantidad de sorbente en polvo provoca fluctuaciones en el funcionamiento del sistema de transporte neumático, provocando fluctuaciones del caudal del fluido de transporte para adaptarse a la contrapresión, puesto que el caudal de soplado se mantiene bastante estable a la salida del soplador en la primera tubería de transporte neumático.

En respuesta a una primera señal, se producen cambios en la relación de peso entre dicho sorbente en polvo y dicho fluido de transporte. Las partículas del sorbente en polvo se transportan con una velocidad fluctuante en la primera tubería de transporte neumático, que puede aumentar o disminuir.

Según otra realización preferente de acuerdo con el proceso de la invención, dicha primera señal es tal como la velocidad del viento del entorno en la salida de la chimenea, la presión atmosférica del entorno en la salida de la chimenea o fuera de dicho conducto de gases de combustión, la temperatura de los gases de combustión, la naturaleza del combustible, el contenido de azufre del combustible, el contenido de azufre del gas de combustión, el contenido de cloruro del gas de combustión, el contenido de mercurio del gas de combustión, el contenido de cloruro del material que se va a quemar o calentar, el contenido de azufre del material que se va a quemar o calentar, el contenido de mercurio del material que se va a quemar o calentar, y su combinación.

En otra realización preferente del proceso para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión, el dispositivo sónico crea un aumento de presión en la primera tubería de transporte neumático cerca del generador sónico de entre 20 y 200 mbar, en concreto de como mínimo 30 mbar, en concreto de como máximo 150 mbar.

Según el proceso de la invención, el soplador está conectado a dicha primera tubería de transporte neumático y sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático, pero también dicho fluido de transporte, como mínimo parcialmente a través de dicho dispositivo sónico.

En efecto, el hecho de que un soplador sople fluido de transporte en el interior de dicha tubería de transporte neumático, pero también como mínimo parcialmente a través de dicho dispositivo sónico, aumenta aún más la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático, actuando así aún más eficientemente para neutralizar las fluctuaciones de caída de presión que impactan positivamente en la captura de

compuestos contaminantes de los gases de combustión por dicho sorbente en polvo transportado a través de dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicho conducto de gases de combustión.

5 En una realización preferente, la primera tubería de transporte neumático es una tubería rígida, en concreto de acero inoxidable. Esta realización preferente es aún más eficaz cuando se combina con el soplador que sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería rígida de transporte neumático.

De hecho, las fluctuaciones de la caída de presión son sorprendentemente neutralizadas por las ondas sónicas que generan un aumento de la caída de presión.

10 La adherencia de partículas finas de material en polvo con un tamaño promedio de partícula d_{50} inferior a 100 μm sobre la pared de una tubería de transporte neumático rígida se produce en zonas tales como curvas, codos, reducciones de sección o ensanchamientos de dicha tubería. Una vez que se produce la adherencia de las partículas a la pared de la tubería, si el sorbente en polvo es cal hidratada o una mezcla de sorbentes
15 que comprende cal hidratada, se produce la carbonatación de la cal hidratada, lo que da como resultado la formación de una capa dura que es difícil de eliminar.

El problema de la adherencia a objetos sólidos es cada vez más importante para partículas de diámetro de partícula decreciente, debido a la mayor contribución de las fuerzas electrostáticas en comparación con las
20 fuerzas de fricción, impulso y gravedad. Las partículas de sorbente en polvo con un diámetro $<100 \mu\text{m}$ se clasifican en general como cohesivas, según la clasificación de Geldart y sus propiedades de flujo se pueden evaluar en detalle utilizando la clasificación de función de flujo según Jenicke. Con la función de flujo de Jenicke, se mide la cohesión interna del polvo, y esto se puede considerar como un buen indicador de las
25 propiedades de adherencia de un polvo.

Para el problema de adherencia del transporte neumático de sorbentes en polvo en tuberías rígidas, los mecanismos de limpieza de mecanismos descritos anteriormente no pueden explicar la prevención de la adherencia.

30 En la aplicación convencional de ondas sónicas, las ondas se utilizan para crear turbulencia en sistemas en los que la velocidad del gas es casi cero dentro de las zonas estancadas del equipo.

La turbulencia de un flujo de fluido en un tubo se puede evaluar con el número de Reynolds:

$$35 \quad Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

En donde ρ es la densidad del fluido de transporte (kg/m^3), v es la velocidad del fluido de transporte (m/s), d es el diámetro del tubo (m) y μ es la viscosidad del fluido de transporte ($\text{Pa}\cdot\text{s}$). Si el número de Reynolds es mayor que 2000 (es decir, $Re > 2000$), el fluido de transporte se considera turbulento.

40 Para el transporte normal de sorbente en polvo, el fluido de transporte puede ser aire ambiente, el diámetro del tubo es de aproximadamente 0,1 m (4 pulgadas) y la velocidad del aire de transporte es habitualmente de 20 m/s. En estas condiciones, el número de Reynolds es superior a un millón, lo que implica que el fluido se comporta de manera altamente turbulenta.

45 Esto significa que en el caso del transporte neumático, las ondas sónicas no sirven para proporcionar turbulencia local a las zonas de flujo laminar para iniciar la limpieza o la eliminación del mecanismo de partículas acumuladas y, por lo tanto, no pueden ser responsables de neutralizar las fluctuaciones en la caída de presión.

50 Además, no se espera un aumento en la caída de presión debido al flujo de aire sónico para flujos altamente turbulentos (véase el documento de Pendyala, R.; Jayanti, S.; Balakrishnan, A. R. Flow and Pressure Drop Fluctuations in a Vertical Tube Subject to Low Frequency Oscillations. Nucl. Eng. Des. 2008, 238 (1), 178-187).

55 Mientras que para los conductos y las paredes de los equipos el movimiento de las piezas metálicas es posible debido al gran tamaño de las piezas, dicho movimiento no es posible para tubos de acero de 0,10-0,20 m (4-8 pulgadas) de diámetro utilizados como primera tubería de transporte neumático. La combinación de área de superficie y grosor de pared de la tubería de transporte neumático evita cualquier
60 movimiento radial importante debido al movimiento radial debido a ondas sónicas.

Por lo tanto, no se espera que la aplicación de ondas sónicas neutralice las fluctuaciones en la caída de presión, evitando de ese modo también la adherencia de las partículas de sorbente en polvo a las paredes rígidas del tubo. Este resultado no obvio es causado por el modo en que se generan las ondas sónicas, tal

como en una realización preferente, por medio de un sistema de soplado, a diferencia de los sistemas convencionales, en los que se utiliza un generador de sonido de extremo cerrado. La consecuencia de la generación de ondas sónicas mediante soplado es una mezcla más intensa por la naturaleza de arranque-parada del flujo.

5

En la presente invención, el dispositivo sónico que genera ondas sónicas es un dispositivo de infrasonidos que genera ondas infrasónicas.

10

En el proceso para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión según la presente invención, cuando dicho dispositivo sónico proporciona una acción neutralizadora en la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicho conducto de gases de combustión, dicho dispositivo sónico proporciona una acción suavizadora y/o una acción de enmascaramiento que también se puede denominar acción de compensación, en la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicho conducto de gases de combustión.

15

20

En el proceso según la presente invención, se generan ondas infrasónicas en el interior de un dispositivo infrasónico que comprende una primera cámara y una segunda cámara, estando ambas primera y segunda cámaras conectadas entre sí por un tubo, siendo generadas dichas ondas infrasónicas por un excitador en el interior de la primera cámara que proporciona pulsos infrasónicos a dicho fluido de transporte soplado, como mínimo parcialmente, en el interior de dicha primera cámara, siendo transportadas dichas ondas infrasónicas generadas a través del tubo para alcanzar la segunda cámara.

25

Más preferentemente, en el proceso según la presente invención, la primera cámara está dividida en un primer compartimento y un segundo compartimento, estando dicho primer compartimento en conexión con dicho segundo compartimento a través de un orificio pasante, comprendiendo dicho primer compartimento un canal interno en cuyo interior se hace que se desplace un pistón móvil desde una primera posición a una segunda posición y desde dicha segunda posición a dicha primera posición mediante una fuente de alimentación, situada externamente con respecto a la primera cámara, y que forma el excitador, estando dicho canal interno instalado concéntricamente en el interior de dicho primer compartimento, siendo dichas ondas infrasónicas generadas por el pistón móvil y transportadas por dicho fluido de transporte desde dicho primer compartimento, a dicho segundo compartimento, a través del orificio pasante antes de ser transportadas a través del tubo para alcanzar la segunda cámara. El fluido de transporte puede ser soplado a través del pistón.

30

35

En otra realización ventajosa, se incluyen controladores de rotación para la fuente de energía del excitador (motor) para evitar frecuencias de trabajo inapropiadas y para aumentar la eficiencia y la seguridad.

40

En una realización ventajosa según la presente invención, el proceso comprende, además, una etapa de derivación de una parte de dicho fluido de transporte soplado por el soplador, antes de entrar en el primer compartimento o desde el primer compartimento, e introducirlo en el interior de la segunda cámara.

45

De hecho, la planta existente para tratar gases de combustión ha sido dimensionada según una calibración específica entre los sopladores existentes, la tubería de transporte neumático y el conducto del tubo, la dimensión del dispositivo de dosificación de sorbente en polvo y similares.

50

Cuando el proceso según la presente invención se debe llevar a cabo en plantas existentes, muy a menudo existe una necesidad de adaptar un dispositivo sónico, en concreto un dispositivo de infrasonidos a las plantas existentes y, en ocasiones, también, a la longitud de la primera tubería de transporte neumático (especialmente entre el dispositivo de dosificación y el conducto de gases de combustión) que es muy larga (más de 100 m) dependiendo del tamaño de la planta o de la limitación de la planta.

55

Habitualmente, la velocidad de alimentación del sorbente en polvo puede variar de una planta a otra entre 30 kg/h y 1200 kg/h; el caudal volumétrico del sorbente en polvo puede variar entre 130 m³/h y 800 m³/h y la presión del fluido de transporte soplado por el soplador puede variar entre 170 mbar y 900 mbar, dependiendo de las capacidades de la planta.

60

Por supuesto, en algunos casos, cuando todo el fluido de transporte es soplado por el soplador a una alta presión debido a la capacidad de la planta, esta alta presión no puede entrar en la primera cámara sin causar daños a las ondas sónicas, en concreto a la calidad de las ondas infrasónicas o al dispositivo sónico, en concreto al propio dispositivo de infrasonidos.

65

Por lo tanto, se ha previsto, según la presente invención, dar a conocer un dispositivo sónico, en concreto un dispositivo de infrasonidos, que es lo suficientemente flexible para adaptarse a muchas capacidades de planta, permitiendo de este modo derivar una parte del fluido de transporte soplado directamente a dicha segunda cámara como una posibilidad operativa del dispositivo sónico, en concreto de infrasonidos.

- 5 En una realización concreta, el sorbente en polvo se selecciona del grupo que consiste en cal hidratada, dolomía hidratada o semihidratada, piedra caliza, dolomita, cal viva, cal viva dolomítica, carbonato o bicarbonato de sodio, dihidrato de sesquicarbonato de sodio (también conocido como Trona), haloisita, sepiolita, un compuesto orgánico carbonoso seleccionado de entre carbón activo y coque de lignito, cenizas volantes o una mezcla de cualquiera de estos compuestos.
- 10 En una realización concreta, el sorbente en polvo es preferentemente un sorbente en polvo principalmente mineral, lo que significa que puede ser principalmente de naturaleza mineral, pero puede contener habitualmente el 30 % en peso o menos, en concreto el 20 % en peso o menos, más concretamente el 15 % o menos de compuesto orgánico carbonoso seleccionado de entre carbón activo y coque de lignito con respecto al peso del sorbente en polvo.
- 15 El material en polvo, en concreto el sorbente en polvo es preferentemente un sorbente mineral principalmente calcítico, que contiene una cantidad de sorbente cálcico mayor del 50 % en peso, en concreto mayor del 70 % con respecto al peso del sorbente en polvo, preferentemente elegido en el grupo que consiste en cal hidratada, dolomía hidratada o semihidratada, piedra caliza, dolomita, cal viva, dolomía viva, o una mezcla de cualquiera de estos compuestos.
- 20 En otra realización preferente adicional, dicho fluido de transporte es aire, gas inerte, gases de escape, o una mezcla de los mismos.
- 25 En otra realización preferente, las ondas infrasónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo también entran en contacto con dicho medio de dosificación, lo que aumenta la precisión de la cantidad suministrada reduciendo la posible obstrucción del medio de dosificación sin dañar el dispositivo de dosificación.
- 30 En otra realización preferente, las ondas infrasónicas se desplazan en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo y, preferentemente, también se desplazan (o se distribuyen) hasta el conducto de gases de combustión.
- 35 En otra realización preferente en el proceso según la presente invención, las ondas infrasónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo se evita que lleguen al soplador debido a una trampa de graves de Helmholtz conectada a dicha primera cámara o, preferentemente, en la tubería entre el soplador y la primera cámara.
- 40 En una realización concreta según la presente invención, el proceso comprende, además, un modo de emergencia y un modo de funcionamiento, en el que en el modo de emergencia, se impide que el aire de transporte soplado entre en dicha primera cámara y es desviado y soplado directamente a dicha primera tubería de transporte neumático, aguas abajo del dispositivo sónico y en el que en el modo de funcionamiento, el fluido de transporte soplado es proporcionado, como mínimo parcialmente, a dicha primera cámara.
- 45 Otras realizaciones del proceso según la presente invención se mencionan en las reivindicaciones adjuntas.
- La presente invención también se refiere a un dispositivo para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión definidos en la reivindicación 11.
- 50 El dispositivo según la presente invención comprende un dispositivo sónico conectado a dicha primera tubería de transporte neumático, y previsto para generar ondas sónicas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicho conducto de gases de combustión, estando previsto, además, dicho dispositivo sónico para neutralizar una etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicho conducto de gases de combustión.
- 55 Ventajosamente, el dispositivo según la presente invención comprende, además, un dispositivo de mezcla situado entre dicho medio de dosificación y dicha primera tubería de transporte neumático, previsto para mezclar dicho sorbente en polvo en dicho fluido de transporte.
- 60 En una realización preferente, el dispositivo según la presente invención comprende, además, un dispositivo de conexión situado entre dicho medio de dosificación y dicha primera tubería de transporte neumático. Además, en algunas realizaciones, el dispositivo de dosificación y el dispositivo de mezcla están integrados en un solo dispositivo.
- 65 En una realización preferente, el dispositivo para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión según la presente invención, comprende, además, un dispositivo de refrigeración, situado entre dicho soplador y dicha primera tubería de transporte neumático.

El dispositivo sónico previsto para generar ondas sónicas es un dispositivo de infrasonidos previsto para generar ondas infrasónicas.

5 Dicho dispositivo de infrasonidos comprende una primera y una segunda cámara, estando ambas primera y segunda cámaras conectadas entre sí por un tubo, comprendiendo dicha primera cámara un excitador situado en el interior de dicha primera cámara, previsto para generar dichas ondas infrasónicas proporcionando pulsos infrasónicos a dicho fluido de transporte soplado, como mínimo parcialmente, en el interior de dicha primera cámara, siendo transportadas dichas ondas infrasónicas generadas a través del tubo
10 que actúa como una tubería de resonancia para alcanzar la segunda cámara.

En una realización especialmente preferente, la primera cámara está dividida en un primer compartimento y un segundo compartimento, estando dicho primer compartimento en conexión con dicho segundo compartimento a través de un orificio pasante, comprendiendo dicho primer compartimento un canal interno
15 en cuyo interior se hace que se desplace un pistón móvil desde una primera posición a una segunda posición, y desde dicha segunda posición a dicha primera posición mediante una fuente de alimentación, situada externamente con respecto a la primera cámara y que forma el excitador, estando dicho canal interno instalado concéntricamente en el interior de dicho primer compartimento, siendo generadas dichas ondas infrasónicas por el pistón móvil y transportadas por dicho fluido de transporte desde dicho primer
20 compartimento a dicho segundo compartimento, a través del orificio pasante antes de ser transportadas a través del tubo para alcanzar la segunda cámara.

En la presente invención, dicho dispositivo sónico está conectado a dicho soplador y a la primera tubería de transporte neumático.

25 En una variante de realización, dicho dispositivo sónico está conectado a un segundo soplador y a la primera tubería de transporte neumático entre el depósito de almacenamiento de sorbente en polvo y el conducto de gases de combustión.

30 En otra variante de realización según la invención, dicho dispositivo sónico está conectado a un segundo soplador y a la primera tubería de transporte neumático entre el depósito de almacenamiento de sorbente en polvo y el soplador.

35 El dispositivo comprende un tubo distribuidor de caudal regulable conectado en un primer extremo bien al soplador, entre el soplador y la primera cámara, o bien a la primera cámara, preferentemente al primer compartimento de la primera cámara y, en un segundo extremo, a la segunda cámara, estando previsto dicho tubo distribuidor de caudal regulable para derivar una parte de dicho fluido de transporte soplado por el soplador e introducirlo en el interior de la segunda cámara.

40 En una realización concreta, el depósito de almacenamiento de sorbente en polvo es un depósito de almacenamiento de sorbente en polvo de sorbente en polvo seleccionado del grupo formado por cal hidratada, dolomía hidratada o semihidratada, caliza, dolomita, cal viva, cal viva dolomítica, carbonato o bicarbonato de sodio, dihidrato de sesquicarbonato de sodio (también conocido como Trona), haloisita, sepiolita, un compuesto orgánico carbonoso seleccionado entre carbón activo y coque de lignito, cenizas volantes o una mezcla de cualquiera de estos compuestos.
45

En concreto, dicho fluido de transporte es aire, gas inerte, gases de escape o una mezcla de los mismos.

50 En una realización preferente, el dispositivo según la presente invención comprende una trampa de graves de Helmholtz conectada a dicha primera cámara o preferentemente en la tubería entre el soplador y la primera cámara, provista para evitar que las ondas infrasónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo lleguen al soplador.

55 En una realización preferente adicional, el dispositivo según la presente invención comprende un dispositivo de emergencia que tiene una primera posición que es una posición de emergencia y una segunda posición que es una posición de funcionamiento, comprendiendo dicho dispositivo de emergencia un interruptor conectado a un tubo de emergencia que conecta directamente el soplador a la primera tubería de transporte neumático, aguas abajo del dispositivo de infrasonidos, siendo dicha posición de emergencia una posición en la que el interruptor impide que el fluido de transporte soplado entre en dicha primera cámara y lo desvía
60 directamente a dicha primera tubería de transporte neumático, aguas abajo del dispositivo de infrasonidos, y en la que la posición de funcionamiento es una posición en la que el fluido de transporte soplado se proporciona como mínimo parcialmente a dicha primera cámara.

65 En el dispositivo según la presente invención, dicha primera señal es tal como la velocidad del viento del entorno a la salida de la chimenea, la presión atmosférica del entorno a la salida de la chimenea o fuera de dicho conducto de gases de combustión, la temperatura de los gases de combustión, la naturaleza del

combustible, el contenido de azufre del combustible, el contenido de azufre de los gases de combustión, el contenido de cloruro de los gases de combustión, el contenido de mercurio de los gases de combustión, el contenido de cloruro del material que se va a quemar o a calentar o fundir, el contenido de azufre del material que se va a quemar o a calentar o fundir, el contenido de mercurio del material que se va a quemar o a calentar o fundir, y su combinación.

En una realización preferente del dispositivo según la presente invención, dicho medio de dosificación se selecciona de entre un tornillo de dosificación, una válvula rotativa con un eje vertical o un eje horizontal, una corredera de aire, un alimentador de chorro, un alimentador de tornillo, un alimentador de esclusa de aire, una bomba de tornillo, un recipiente a presión, un elevador de aire, estando situado dicho medio de dosificación entre dicho depósito de almacenamiento de sorbente en polvo y dicha primera tubería de transporte neumático que está prevista para entrar en contacto con ondas sónicas, en concreto ondas infrasonicas, transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo.

Otras realizaciones del dispositivo según la presente invención se mencionan en las reivindicaciones adjuntas.

Otras características y ventajas de la presente invención se derivarán de la siguiente descripción no limitativa, y haciendo referencia a los dibujos y los ejemplos.

En los dibujos, la figura 1A es una representación esquemática de un proceso de calentamiento en el que se realiza el transporte neumático de un material en polvo, según la presente invención.

La figura 1B es otra representación esquemática de un proceso de calentamiento en el que se realiza el transporte neumático de un material en polvo, según la presente invención.

La figura 1C es otra representación esquemática de un proceso de calentamiento en el que se realiza el transporte neumático de un material en polvo, según la presente invención, en diferentes ubicaciones posibles.

La figura 1D es otra representación esquemática de un proceso de calentamiento en el que se realiza el transporte neumático de un material en polvo, según la presente invención.

La figura 2 es una representación esquemática de un transporte neumático de un material en polvo, donde el dispositivo sónico está situado en línea con la tubería de transporte neumático.

La figura 3 es una representación esquemática de un transporte neumático de un material en polvo, donde el dispositivo sónico está situado en paralelo con la tubería de transporte neumático.

La figura 4 es una representación esquemática de un transporte neumático de un material en polvo, donde el dispositivo sónico está situado en paralelo con su propio soplador con la tubería de transporte neumático.

La figura 4A es una representación esquemática de un transporte neumático de múltiples líneas de un material en polvo.

La figura 5 es un diagrama de flujo de Jenicke para material en polvo que muestra el comportamiento cohesivo del material en polvo cuando es cal hidratada.

La figura 6 es un gráfico que muestra las tendencias de presión en la primera tubería de transporte neumático donde la primera curva muestra la caída de presión a lo largo del tiempo en una tubería de transporte neumático 13', sin un dispositivo de infrasonidos, y la segunda curva muestra la caída de presión a lo largo del tiempo en otra tubería de transporte neumático 13, sin dispositivo de infrasonidos.

La figura 6A es un gráfico que muestra las tendencias de presión en la primera tubería de transporte neumático donde la primera curva muestra la caída de presión a lo largo del tiempo en una tubería de transporte neumático 13' CON un dispositivo de infrasonidos y la segunda curva muestra la caída de presión a lo largo del tiempo en otra tubería de transporte neumático 13 sin dispositivo de infrasonidos.

La figura 7 muestra esquemáticamente las plantas en las que se llevó a cabo el ejemplo.

En los dibujos, se han asignado los mismos números de referencia al mismo elemento o a un elemento análogo.

Tal como se puede ver en la figura 1A, un proceso de calentamiento comprende habitualmente una unidad de calentamiento tal como un intercambiador de calor (por ejemplo, una caldera), un incinerador o un horno

que es seguido por una unidad de filtrado y/o un depurador 9. En la unidad de calentamiento 8, los gases de combustión están contenidos en un conducto de gases de combustión (no mostrado) y salen de la unidad de calentamiento 8 para entrar en la unidad de filtrado y/o en un depurador 9 desde el cual los gases de combustión pasan a través de un soplador (ventilador) 11 y son evacuados a la chimenea 10. Es obvio que incluso si solo se representa un elemento como equipo 9, puede haber unidades de filtrado y depurador consecutivas, en cualquier orden, conectadas por un conducto, dependiendo de la instalación de tratamiento de gases de combustión de las plantas.

El proceso de calentamiento mostrado en la figura 1 puede ser un proceso de combustión en el que está presente un horno 8, tal como un horno de carbón, lignito o biomasa, un horno de cemento, un horno de cal, un horno de vidrio, un horno de minerales de metal, en concreto de minerales de hierro, un horno de material de reciclaje o incluso un incinerador 8 que quema, por ejemplo, basura.

El proceso de calentamiento que se muestra aquí también puede ser un proceso que comprende una caldera 8 que recupera energía térmica de una etapa anterior. La caldera 8 puede recuperar la energía de una etapa anterior de combustión en un horno o en un quemador 15 (véase la figura 1C) o de otra etapa de quema.

Los gases de combustión pueden proceder de la combustión o del calentamiento o de la fundición del material (basura, mineral de hierro en una acería, piedra caliza, sílice) que se va a quemar, o del combustible (coque, carbón, gas, lignito, combustibles líquidos derivados del petróleo, ...)

Por este motivo, las industrias, denominadas en adelante "industrias de combustión" que utilizan quemadores tales como incineradores de basura, pero también industrias que utilizan hornos, controlan cada vez más la emisión de compuestos contaminantes en el tratamiento de los gases de combustión para cumplir con los requisitos medioambientales.

El tratamiento de los gases, en concreto de los gases de combustión, requiere la reducción de los gases ácidos, en concreto HCl, SO₂ y/o HF, reducción que puede ser realizada en seco, inyectando una sustancia, a menudo mineral, seca y en polvo en un flujo de gases de combustión, o a través de un lecho filtrante que comprende partículas sólidas fijas o en movimiento. En este caso, el compuesto en polvo comprende en general un compuesto de calcio y magnesio, en concreto cal, preferentemente cal apagada o hidratada o un compuesto de sodio tal como un carbonato o bicarbonato de sodio. También se pueden utilizar otros compuestos, en concreto los utilizados para reducir dioxinas, furanos y/o metales pesados, incluido el mercurio, por ejemplo, sustancias carbonosas tales como carbón activo o coque de lignito o sustancias minerales, tales como las basadas en filosilicatos, tal como sepiolita o haloisita o similares.

Puesto que los gases de combustión contienen compuestos contaminantes que deben ser eliminados, muy a menudo se inyecta material en polvo, en concreto sorbente en polvo, en el conducto de gases de combustión, para capturar un cierto nivel de compuestos contaminantes.

Para inyectar un material en polvo, por ejemplo un sorbente en polvo, la planta de procesamiento comprende un soplador 1 que está conectado a una primera tubería de transporte neumático 13 y sopla fluido de transporte, tal como por ejemplo aire, gas inerte, gases de escape, o una mezcla de los mismos en la primera tubería de transporte neumático 13.

Un material en polvo, en concreto un depósito de almacenamiento 2 de sorbente en polvo está conectado a la primera tubería de transporte neumático 13 a través de un medio de dosificación 3. La primera tubería de transporte neumático 13 que comprende una pared de tubería está conectada a dicho material en polvo, en concreto a dicho depósito de almacenamiento 2 de sorbente en polvo y al conducto de gases de combustión de la unidad de calentamiento 8, y continúa aguas abajo de la unidad de calentamiento 8.

El fluido de transporte tiene un flujo que comprende una capa límite a lo largo de dicha pared de la tubería, pero también las partículas de dicho material en polvo tienen una capa límite alrededor de ellas dentro de dicho flujo de transporte.

El material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, es transportado por lo tanto neumáticamente en la primera tubería de transporte neumático 13 desde el depósito de almacenamiento 2 de material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, hasta el conducto de gases de combustión de la unidad de calentamiento 8, y continúa aguas abajo de la unidad de calentamiento 8 mediante un flujo de fluido de transporte generado por el soplador 1 y que sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 en la que se transportan partículas de dicho material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo.

El medio de dosificación 3 dosifica una cantidad de dicho material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo cuando entra desde dicho depósito de almacenamiento 2 de material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo en dicha primera tubería de transporte neumático 13.

El medio de dosificación 3 se selecciona preferentemente de entre un tornillo de dosificación, una válvula rotativa con un eje vertical o un eje horizontal, una corredera de aire, un alimentador de chorro, un alimentador de tornillo, un alimentador de esclusa de aire, una bomba de tornillo, un recipiente a presión, un elevador de aire o similares.

El material en polvo, en concreto el sorbente en polvo contenido en el depósito de almacenamiento 2 de material en polvo se selecciona del grupo que consiste en cal hidratada, dolomía hidratada o semihidratada, piedra caliza, dolomita, cal viva, dolomía viva, carbonato o bicarbonato de sodio, dihidrato de sesquicarbonato de sodio (también conocido como Trona), haloisita, sepiolita, un compuesto orgánico carbonoso seleccionado de entre carbón activo y coque de lignito, cenizas volantes o una mezcla de cualquiera de estos compuestos.

En la realización mostrada, se da a conocer un dispositivo de secado 14, para secar el fluido de transporte antes de entrar en el soplador 1. También se da a conocer un dispositivo de enfriamiento 4, para enfriar el fluido de transporte después de ser soplado por dicho soplador en la primera tubería de transporte neumático 13, para transportar adicionalmente en la primera tubería de transporte neumático 13 un fluido de transporte seco. Un dispositivo de mezcla o conexión 5 también está presente en la planta de procesamiento, que permite la mezcla del fluido de transporte soplado por dicho soplador 1 y el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo dosificado por dicho medio de dosificación 3.

Más específicamente, un dispositivo de mezcla comprende un primer tubo de alimentación, en el que el fluido de transporte en la primera tubería de transporte neumático entra en una cámara de mezcla a la que está conectado el primer tubo de alimentación y un segundo tubo de alimentación conectado a dicho medio de dosificación 3, y a dicha cámara de mezcla, para alimentar el material en polvo. Durante la alimentación del material en polvo y del fluido de transporte, se realiza una mezcla homogénea del material en polvo y del fluido de transporte soplado, que sale de la cámara de mezcla para continuar su transporte a través de dicha primera tubería de transporte neumático 13 hasta dicho conducto de gases de combustión en el horno o el soplador 8. En la primera tubería de transporte neumático, aguas abajo de la cámara de mezcla, las partículas son transportadas y se distribuyen adecuadamente en el fluido de transporte. Las partículas del material en polvo en el fluido de transporte se alimentan en el fondo del horno o caldera 8, especialmente, en el conducto de gases de combustión.

Un dispositivo sónico 12 está situado o conectado en cualquier ubicación entre el soplador y el conducto de gases de combustión, preferentemente, tal como se muestra en este documento, entre el soplador y el dispositivo de mezcla 5. El dispositivo sónico 12 genera ondas sónicas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicho conducto de gases de combustión. En esta realización preferente mostrada, el soplador 1 conectado a dicha primera tubería de transporte neumático 13 sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13, pero también sopla dicho fluido de transporte, como mínimo parcialmente, a través de dicho dispositivo sónico 12.

En esta realización mostrada, dicho medio de dosificación 3 situado entre dicho depósito de almacenamiento 2 de sorbente en polvo y dicha primera tubería de transporte neumático 13 también está en contacto con ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 durante dicho transporte de sorbente en polvo.

Por la expresión "conectado a", se entiende que un elemento está conectado a otro elemento directa o indirectamente, lo que significa que los elementos están en comunicación entre sí, pero se pueden introducir otros elementos entre ellos.

Por la expresión transporte neumático de material en polvo se entiende, dentro del alcance de la invención, transporte neumático por presión negativa o por presión positiva, transporte neumático de material en polvo como una fase densa o filamentosa o fase diluida, en concreto fase diluida, en fluido de transporte, o como una fase discontinua en fluido de transporte.

Durante el transporte neumático de un material en polvo, las fluctuaciones de caída de presión ocurren en cualquier momento, muy frecuentemente y son difíciles de controlar. Las fluctuaciones en la caída de presión se pueden deber a una serie de factores intrínsecos del proceso de transporte neumático o a un evento externo.

Dichas fluctuaciones de caída de presión perturban todo el transporte neumático del material en polvo, en concreto del sorbente en polvo, que se va a transportar, causando diferentes tipos de perturbaciones. Entre otras perturbaciones, se puede encontrar el hecho de que las fluctuaciones en la caída de presión están provocando una modificación de la velocidad de transporte del sorbente en polvo.

Tal como se explicó al principio, los flujos de sorbente en polvo tienen una velocidad de saltación por debajo de la que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, comienza a sedimentarse en el tubo de transporte neumático mientras que el fluido de transporte soplado por sopladores recibe un valor nominal

seguro de velocidad, mayor que la velocidad de saltación, para evitar que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, se sedimente en el interior del tubo de transporte neumático.

De hecho, los sopladores se caracterizan por una curva entre la caída de presión y el caudal. La caída de presión es la impuesta por la planta dentro de la cual se realizará el transporte neumático y la curva de caracterización del soplador imparte un caudal al transporte neumático del material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, dependiendo del valor de la caída de presión que se produce dentro de la planta.

En cuanto se produce una pequeña fluctuación en la caída de presión, la caída de presión comienza a disminuir o a aumentar sin que sea posible controlarla con la suficiente rapidez para no perturbar el transporte neumático del material en polvo. Como consecuencia, por ejemplo, entre otros, cuando aumenta la caída de presión, la velocidad neumática o el caudal del fluido de transporte se reducen, lo que puede hacer que la velocidad del fluido de transporte alcance un valor inferior a la velocidad nominal segura, lo que hace que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, transportado neumáticamente, se sedimente en el interior de la tubería de transporte neumático.

Por lo tanto, el material en polvo comienza a acumularse en el interior de la tubería de transporte neumático, lo que provoca a su vez fluctuaciones de la caída de presión a medida que se reduce el diámetro de paso de la tubería disponible para el transporte neumático, lo que provoca un aumento de la caída de presión que, a su vez, tiene consecuencias en el transporte neumático.

Tal como se puede comprender, la fluctuación más pequeña en la caída de presión, que ocurre cualquiera que sea el nivel de optimización del transporte neumático tendrá una consecuencia importante en la eficiencia del transporte neumático del material en polvo, en concreto del sorbente en polvo, en el interior de la tubería de transporte neumático.

Este fenómeno de fluctuación ocurre en cualquier fluido de transporte cuando se sopla, pero por supuesto se amplifica aún más cuando se transporta un material en polvo, puesto que el propio material en polvo no puede recuperar fácilmente el régimen correcto de caída de presión tan pronto como comienza a acumularse en el interior de la tubería de transporte neumático.

En el proceso según la presente invención, el dispositivo sónico 12 genera ondas infrasónicas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 hasta dicho conducto de gases de combustión en el horno o en la caldera 8, y proporciona una neutralización en la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático hasta dicho conducto de gases de combustión.

De hecho, se ha descubierto sorprendentemente que cuando las ondas infrasónicas generan un aumento de presión, el aumento de presión tiene la capacidad de neutralizar la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o en dicho conducto de gases de combustión.

El dispositivo sónico crea preferentemente un aumento de la caída de presión en la primera tubería de transporte neumático cerca del generador sónico de entre 20 y 200 mbar, en concreto de como mínimo 30 mbar, en concreto de como máximo 150 mbar.

Cuando dicho dispositivo sónico proporciona una acción de neutralización en la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora, dicho dispositivo sónico proporciona una acción de suavizado y/o una acción de enmascaramiento en la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicho conducto de gases de combustión.

Las ondas infrasónicas se utilizan para aumentar la caída de presión, lo que significa que las ondas sónicas según la presente invención se utilizan de tal manera que son capaces de neutralizar la etapa de fluctuación de la caída de presión, minimizando de ese modo las perturbaciones que provocan la acumulación de material en polvo, en concreto sorbente en polvo, en dicho transporte neumático, en lugar de curar o actuar retroactivamente sobre la acumulación de partículas.

En la realización preferente mostrada, la neutralización de la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático 13 provoca la mejora de la captura de compuestos contaminantes reduciendo las fluctuaciones en el sorbente en polvo, en concreto el sorbente mineral en polvo, alimentado en el conducto de gases de combustión por ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 durante dicho transporte neumático de sorbente en polvo.

De hecho, se ha descubierto sorprendentemente que las ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte neumático de sorbente en polvo tienen un impacto directo en las fluctuaciones en el transporte neumático de sorbente en polvo alimentado en el conducto de gases de combustión.

La utilización apropiada de ondas sónicas circulantes, creando un aumento de la caída de presión en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 durante dicho transporte de sorbente en polvo, puede resolver las fluctuaciones en el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, inyectado en el interior del conducto de gases de combustión.

Se ha demostrado que las ondas infrasónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo previenen deficiencias en la captura de contaminantes en el interior del conducto de gases de combustión, neutralizando muy rápidamente las fluctuaciones en la caída de presión, evitando de ese modo que las partículas no tengan suficiente velocidad para sedimentarse, y permitiendo que sean transportadas por el transporte neumático y, como consecuencia, que aún alcancen el conducto de gases de combustión. De hecho, las ondas sónicas chocan con las partículas que tienen tendencia a asentarse contra la pared de la primera tubería de transporte neumático cuando no tienen suficiente velocidad para ser transportadas neumáticamente como resultado de la existencia de una capa límite.

De hecho, la combinación de la utilización adecuada de las ondas infrasónicas que crean un aumento de la caída de presión en la primera tubería de transporte neumático junto con la colisión entre las partículas del sorbente en polvo y las ondas sónicas que tienen una frecuencia fluctuante de las ondas que cambian la ubicación de los antinodos y los nodos de vibración del sonido en la tubería.

Por lo tanto, según la presente invención, se ha demostrado que las ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 durante dicho transporte de sorbente en polvo mejoran el nivel de captura de contaminantes neutralizando las fluctuaciones en la caída de presión en la primera tubería de transporte neumático 13 y, por lo tanto, garantizando un caudal adecuado/optimizado de sorbente en polvo al conducto de gases de combustión en el horno o caldera 8.

En algunos casos, las fluctuaciones de la caída de presión en la primera tubería de transporte neumático se deben a las condiciones de funcionamiento o al bucle de regulación debido a una primera señal proporcionada por el propio proceso o por una medida o un dato.

Cada vez más, las industrias de combustión utilizan analizadores a la salida del conducto de gases de combustión para medir el nivel de compuestos contaminantes (ejemplo de primera señal) y han puesto en marcha un bucle de regulación con el tiempo para actuar retroactivamente sobre la cantidad de sorbente en polvo utilizado para capturar esos contaminantes. Por ejemplo, si el nivel de SO₂ comienza a aumentar, se aumentará la cantidad de sorbente en polvo para mejorar la captura de este contaminante. Si el nivel de SO₂ comienza a disminuir, se reducirá la cantidad de sorbente en polvo.

Otras "industrias de combustión" no utilizan el análisis continuo, pero como medida de precaución, ajustan la cantidad de sorbente en polvo en base a varios criterios y mediciones (primera señal), tales como el nivel de azufre en el combustible que se utilizará, el preanálisis o los datos sobre el nivel de cloruro o azufre presente en la basura que se va a quemar o el material que se va a calentar (mineral de metal, material de reciclaje...), en base a la etapa de combustión o de calentamiento, el turno de las personas que conducen el horno, el nivel de aire primario introducido en el horno para realizar la combustión del material que se va a quemar, en base a la temperatura, la presión atmosférica, ... La cantidad de sorbente en polvo se fija entonces manualmente durante un período de tiempo predeterminado y se cambia cuando surge una nueva condición (primera señal).

Más particularmente, cuando surge una primera señal de los gases de escape de la quema del combustible y/o del material que se va a quemar, tal como por ejemplo un aumento del nivel de contaminantes, una disminución del nivel de contaminantes, la respuesta que se debe dar es cambiar la cantidad de sorbente en polvo que se debe introducir en el interior del conducto de gases de combustión. El cambio en la cantidad de sorbente en polvo que es soplado en el interior de la primera tubería de transporte neumático por el soplador produce un cambio en la relación de peso entre dicho fluido de transporte y dicho sorbente en polvo que crea fluctuaciones en la caída de presión del transporte neumático, provocando de ese modo fluctuaciones en el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo inyectado en el interior del conducto de gases de combustión.

En efecto, el cambio en la cantidad de sorbente en polvo provoca fluctuaciones en el funcionamiento del sistema de transporte neumático, lo que provoca fluctuaciones en el caudal del fluido de transporte para adaptarse a la contrapresión, puesto que la velocidad de soplado se mantiene bastante estable a la salida del soplador en la primera tubería de transporte neumático.

En respuesta a una primera señal, se producen cambios en la relación de peso entre dicho sorbente en polvo y dicho fluido de transporte. Las partículas del sorbente en polvo se transportan con una velocidad fluctuante en la primera tubería de transporte neumático, que puede aumentar o disminuir.

- En otros casos, dicha primera señal es tal como la velocidad del viento del entorno a la salida de la chimenea, la presión atmosférica del entorno a la salida de la chimenea o fuera de dicho conducto de gases de combustión, la temperatura de los gases de combustión, la naturaleza del combustible, el contenido de azufre del combustible, el contenido de azufre de los gases de combustión, el contenido de cloruro de los gases de combustión, el contenido de mercurio de los gases de combustión, el contenido de cloruro del material que se va a quemar, el contenido de azufre del material que se va a quemar o a calentar, el contenido de mercurio del material que se va a quemar o a calentar, y su combinación.
- La figura 1B muestra una variante de realización, según la presente invención, en la que las partículas del material en polvo en el fluido de transporte se alimentan en un conducto que entra en la unidad de calentamiento 8.
- La figura 1C, tal como se mencionó anteriormente, muestra un proceso, comprendiendo el proceso de calentamiento una caldera 31 que recupera energía térmica de un horno o de un quemador 15.
- Los gases de combustión calientes se producen más específicamente en el horno o quemador 15 y son transportados a una caldera 31 para recuperar las calorías contenidas, antes de ser transferidos a un dispositivo de filtrado y/o un depurador de gases 9. Es obvio que incluso si solo se representa un elemento como equipo 9, puede haber unidades de filtrado y depuración consecutivas, en cualquier orden, conectadas por un conducto, dependiendo de la instalación de tratamiento de gases de combustión de las plantas.
- El material en polvo puede ser inyectado como se muestra en diferentes lugares, tal como en el horno 15, incluyendo en su cámara de postcombustión o zona de postcombustión (opción A), en la caldera 31 (opción B), o en la entrada del dispositivo de filtrado y/o depurador de gases 9 (opción C) o en el conducto de gases entre todos esos equipos (línea discontinua) o cualquier combinación de los mismos. Es obvio que en caso de múltiples equipos 9, el material en polvo puede ser inyectado entre los diversos equipos 9, en el conducto entre o en la entrada de una o varias de las unidades 9.
- La primera tubería de transporte neumático estará conectada, dependiendo de las diversas opciones, al horno o a su cámara de postcombustión o zona de postcombustión (opción A), a la caldera (o a cualquier otro intercambiador de calor) 31 (opción B), o al dispositivo de filtrado (o depuración) 9 (opción C) o en el conducto de gas entre todos esos equipos, o en cualquier combinación de los mismos.
- En una variante específica de la presente invención, se prevé también que estén presentes múltiples conductos de transporte, cada uno de los cuales contiene su propio dispositivo sónico, o incluso que aguas abajo del dispositivo sónico esté presente un conector multivía y la primera tubería de transporte múltiple se extienda en un haz de conductos de transporte neumático, opcionalmente dotados de un mecanismo de cierre/apertura para proporcionar más flexibilidad al dispositivo de la presente invención.
- La figura 1D representa la realización A mostrada en la figura 1C donde se detalla el dispositivo sónico de generación de ondas sónicas, que es un dispositivo de infrasonidos de generación de ondas infrasonicas. Cabe señalar que el dispositivo sónico puede estar integrado tanto en la variante B como en la C.
- En el dispositivo de infrasonidos, las ondas infrasonicas son generadas en el interior de un dispositivo de infrasonidos 12 que comprende una primera cámara 16 y una segunda cámara 17, estando ambas primera y segunda cámaras conectadas entre sí por un tubo 18, siendo generadas dichas ondas infrasonicas por un excitador 19 en el interior de la primera cámara 16, que proporciona pulsos de infrasonidos a dicho fluido de transporte soplado como mínimo parcialmente en el interior de dicha primera cámara 16, siendo transportadas dichas ondas infrasonicas generadas a través del tubo para alcanzar la segunda cámara 17, en el que la primera cámara está dividida en un primer compartimento 20 y un segundo compartimento 21. El primer compartimento 20 está conectado al segundo compartimento 21 a través de un orificio pasante 22, y comprende un canal interno en cuyo interior se hace que se desplace un pistón móvil desde una primera posición a una segunda posición, y desde dicha segunda posición a dicha primera posición, mediante una fuente de alimentación 23, situada externamente con respecto a la primera cámara 16, y que forma el excitador. El canal interno está instalado concéntricamente en el interior de dicho primer compartimento 20.
- Las ondas infrasonicas son generadas por el pistón móvil y transportadas por dicho fluido de transporte desde dicho primer compartimento 20 a dicho segundo compartimento 21, a través del orificio pasante 22, antes de ser transportadas a través del tubo 18 para alcanzar la segunda cámara 17.
- El fluido de transporte soplado por dicho soplador 1 llega al primer compartimento de la primera cámara para entrar en el dispositivo de infrasonidos a través de la línea de alimentación 24. La primera cámara 16 es seguida por una sección cónica 16a hasta la conexión con el tubo 18 que actúa como un tubo de resonancia. El fluido de transporte sigue el tubo 18 para llegar a una segunda sección cónica 17a de expansión que tiene una sección que se ensancha en el sentido hacia la segunda cámara 17 a la que está conectado.

En una realización preferente, comprende, además, un tubo distribuidor de caudal regulable 25 conectado en un primer extremo al soplador 1, entre el soplador 1 y la primera cámara 16 o a la primera cámara 16, preferentemente al primer compartimento 20, y en un segundo extremo, a la segunda cámara 17. Dicho tubo distribuidor de caudal regulable 25 está previsto para derivar una parte de dicho fluido de transporte soplado por el soplador 1 e introducirlo en el interior de la segunda cámara 17.

En otra realización preferente, el dispositivo según la presente invención comprende, además, una trampa de graves de Helmholtz (no mostrada) conectada a dicha primera cámara 16 o preferentemente en la tubería entre el soplador y la primera cámara. La trampa de graves de Helmholtz está prevista para impedir que las ondas infrasónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 durante dicho transporte de sorbente en polvo lleguen al soplador 1.

En otra realización preferente, tal como se muestra en la figura 1D, el dispositivo según la presente invención comprende un dispositivo de emergencia 26, que tiene una primera posición que es una posición de emergencia y una segunda posición que es una posición de funcionamiento, comprendiendo dicho dispositivo de emergencia un interruptor 27 conectado a un tubo de emergencia 28 que conecta directamente el soplador 1 a la primera tubería de transporte neumático 13, aguas abajo del dispositivo de infrasonidos 12. El interruptor 27 puede ser una válvula de 3 vías instalada en el punto de conexión tal como está dibujada y, de esta manera, todo el fluido de transporte soplado pasa a través del tubo de emergencia 28 o puede ser una válvula de 2 vías introducida en cualquier posición en el tubo 28, que permite que el fluido de transporte soplado sea transportado (total o parcialmente, dependiendo de la posición del pistón móvil en el canal interno) aguas abajo del dispositivo de infrasonidos 12.

La posición de emergencia es una posición en la que el interruptor 27 impide que el fluido de transporte soplado entre en dicha primera cámara 16 y lo desvía directamente a dicha primera tubería de transporte neumático 13, aguas abajo del dispositivo infrasónico 12, y en la que la posición de funcionamiento es una posición en la que el fluido de transporte soplado se proporciona como mínimo parcialmente a dicha primera cámara 16.

El dispositivo infrasónico funciona a baja presión, lo que significa que la presión en el interior del dispositivo infrasónico oscila alrededor de la presión atmosférica, pero se mantiene por debajo de 1,5 bar absolutos.

Las ondas infrasónicas generadas son ondas de alta potencia de entre 150 y 170 dB. El fluido de transporte que entra es alimentado a una presión de aproximadamente 1,25 bar. El pistón 23 propulsa el fluido de transporte desde la entrada para el fluido de transporte 24. La fuente de alimentación impulsa el pistón para garantizar su movimiento. El diámetro preferente del pistón está comprendido entre 50 y 150 mm. El pistón se desplaza desde una primera posición a una segunda posición en el interior de una camisa conectada al primer compartimento 20. La camisa comprende orificios de un primer tipo que permiten que la camisa esté en conexión fluida con la entrada de fluido de transporte 24. Además, el pistón 23 comprende una cabeza también dotada de orificios de un segundo tipo.

La camisa está situada en el interior de un primer compartimento 20 en conexión fluida con la entrada de fluido de transporte 24. Durante el desplazamiento del pistón 23 desde la primera posición a la segunda posición, los orificios del segundo tipo se desplazan gradualmente por delante de los orificios del primer tipo, permitiendo que gradualmente el fluido de transporte se desplace desde el primer compartimento 20 al segundo compartimento 21. Cuando el pistón 23 está en la primera posición, los orificios del primer tipo comparten canal con los orificios del segundo tipo, permitiendo totalmente el paso del fluido de transporte (posición abierta). Cuando el pistón 23 está en la segunda posición, los orificios del primer tipo no comparten canal con los orificios del segundo tipo, impidiendo por lo tanto el paso del fluido de transporte (posición cerrada).

El generador de pulsos infrasónicos genera aguas abajo la oscilación del fluido de transporte a una frecuencia sónica, que es, en el caso de las ondas infrasónicas, inferior a 30 Hz, preferentemente de aproximadamente 20 Hz. La generación del pulso, es decir, el desplazamiento del pistón 23 genera una fluctuación de la presión en el fluido de transporte a una frecuencia sónica que se propaga a través de la tubería del dispositivo.

La primera cámara provoca una reducción de la potencia de las oscilaciones, pero aumenta el ancho de banda. De hecho, debido a que se proporciona un tubo de resonancia, la frecuencia puede variar de +0,5 a -0,5 Hz, lo que cambia la ubicación de los antinodos y los nodos de vibración del sonido en la primera tubería de transporte neumático.

Preferentemente, el diámetro de la base de la sección cónica 16a está comprendido entre 350 y 500 mm, y el diámetro de la parte superior de la sección cónica 16a está comprendido entre 150 y 219 mm. El tubo de resonancia 18 tiene un diámetro comprendido entre 150 y 300 mm y una longitud de $X/4$, donde X es la

- longitud de onda de la señal infrasónica. El tubo de resonancia 18 permite que el fluido de transporte inicie la resonancia. La base de la sección cónica 17a está comprendida entre 150 y 300 mm, y la parte superior de la sección cónica 17a tiene un diámetro comprendido entre 400 y 600 mm. La segunda cámara 17 permite propagar las oscilaciones para garantizar la transmisión al material en polvo. La longitud de la segunda cámara 17 es de aproximadamente 750 mm y el diámetro está comprendido entre 400 y 600 mm.
- Las figuras 2 a 4 muestran, entre otras, la ubicación preferente del dispositivo sónico en un sistema de transporte neumático.
- En otra realización, el dispositivo sónico también puede estar situado aguas abajo del depósito de almacenamiento.
- En las realizaciones mostradas en las figuras 2 a 4, la primera tubería de transporte neumático puede estar conectada, como en las figuras 1A a 1D, a un horno, un incinerador, una caldera, un filtro, un depurador o incluso a un silo. Esto se ha mencionado en lo que sigue como una zona receptora.
- Según la presente invención, por la expresión zona receptora, se entiende un silo para recoger el sorbente en polvo, un canal en el que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, se inyectará a través de un transporte neumático, tal como un conducto de gases de combustión, una tubería en el interior de una planta, depuradores de gases, dispositivos de filtrado, tales como precipitadores electrostáticos, filtros de mangas, ...
- La figura 2 muestra esquemáticamente un sistema de transporte neumático para transportar un material en polvo, por ejemplo un sorbente en polvo.
- El sistema de transporte neumático comprende un soplador 1 que está conectado a una primera tubería de transporte neumático 13 y sopla fluido de transporte, tal como por ejemplo aire, gas inerte, gases de escape o una mezcla de los mismos, en la primera tubería de transporte neumático 13.
- Un material en polvo, en concreto un depósito de almacenamiento 2 de sorbente en polvo está conectado a la primera tubería de transporte neumático 13 a través de un medio de dosificación 3. La primera tubería de transporte neumático 13 que comprende una pared de tubería está conectada a dicho material en polvo, en concreto a dicho depósito de almacenamiento 2 de sorbente en polvo y a la zona receptora.
- El fluido de transporte tiene un flujo que comprende una capa límite a lo largo de dicha pared de tubería, pero también las partículas de dicho material en polvo tienen una capa límite alrededor de ellas, dentro de dicho flujo de transporte.
- El material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, es transportado por lo tanto neumáticamente en la primera tubería de transporte neumático 13 desde el material en polvo, en concreto un depósito de almacenamiento 2 de sorbente en polvo hasta el conducto de gases de combustión en la zona receptora (no mostrada) mediante un flujo de fluido de transporte generado por el soplador 1 y que sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 en la que se transportan partículas de dicho material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo.
- El medio de dosificación 3 dosifica una cantidad de dicho material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo, cuando entra desde dicho material en polvo, en concreto dicho depósito de almacenamiento 2 de sorbente en polvo en dicha primera tubería de transporte neumático 13.
- El medio de dosificación 3 está seleccionado preferentemente de entre un tornillo de dosificación, una válvula rotativa con un eje vertical o un eje horizontal, una corredera de aire, un alimentador de chorro, un alimentador de tornillo, un alimentador de esclusa de aire, una bomba de tornillo, un recipiente a presión, un elevador de aire.
- El material en polvo, en concreto el sorbente en polvo contenido en el depósito de almacenamiento 2 de material en polvo se selecciona del grupo que consiste en cal hidratada, dolomía hidratada o semihidratada, piedra caliza, dolomita, cal viva, cal viva dolomítica, carbonato o bicarbonato de sodio, dihidrato de sesquicarbonato de sodio (también conocido como Trona), haloisita, sepiolita, un compuesto orgánico carbonoso seleccionado de entre carbón activo y coque de lignito, cenizas volantes o una mezcla de cualquiera de estos compuestos.
- En la realización mostrada, también se da a conocer un dispositivo de secado 4 para secar el fluido de transporte después de ser soplado por dicho soplador en la primera tubería de transporte neumático 13 para transportar adicionalmente en la primera tubería de transporte neumático 13 un fluido de transporte seco. Un dispositivo de mezcla o conexión 5 también está presente en la planta de procesamiento, que permite la mezcla del fluido de transporte soplado por dicho soplador 1 y el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo dosificado por dicho medio de dosificación 3.

Más específicamente, el dispositivo de mezcla comprende un primer tubo de alimentación, en el que el fluido de transporte en la primera tubería de transporte neumático entra en una cámara de mezcla a la que está conectado el primer tubo de alimentación, y un segundo tubo de alimentación, conectado a dicho medio de dosificación 3 y a dicha cámara de mezcla, para alimentar el material en polvo. Durante la alimentación del material en polvo y del fluido de transporte, se realiza una mezcla homogénea del material en polvo y del fluido de transporte soplado, que sale de la cámara de mezcla para continuar su transporte a través de dicha primera tubería de transporte neumático 13 hasta dicha zona receptora. En la primera tubería de transporte neumático, aguas abajo de la cámara de mezcla, las partículas son transportadas y se distribuyen adecuadamente en el fluido de transporte.

Un dispositivo sónico 12 está situado o conectado en cualquier ubicación entre el soplador y el conducto de gases de combustión, preferentemente, tal como se muestra en este documento, entre el soplador y el dispositivo de mezcla 5. El dispositivo sónico 12 genera ondas sónicas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora. En esta realización preferente mostrada, el soplador 1 conectado a dicha primera tubería de transporte neumático 13 sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 pero también sopla dicho fluido de transporte como mínimo parcialmente a través de dicho dispositivo sónico 12.

En esta realización mostrada, dicho medio de dosificación 3 situado entre dicho depósito de almacenamiento 2 de material en polvo y dicha primera tubería de transporte neumático 13 también está en contacto con ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 durante dicho transporte de material en polvo.

Por la expresión "conectado a", se entiende que un elemento está conectado a otro elemento directa o indirectamente, es decir, que los elementos están en comunicación entre sí pero se pueden introducir otros elementos entre ellos.

Por la expresión transporte neumático de material en polvo, se entiende dentro del alcance de la invención transporte neumático por presión negativa o por presión positiva, transporte neumático de material en polvo como una fase diluida en un fluido de transporte, o como una fase discontinua en un fluido de transporte.

Durante el transporte neumático de un material en polvo, las fluctuaciones de caída de presión ocurren en cualquier momento, muy frecuentemente y son difíciles de controlar. Las fluctuaciones en la caída de presión se pueden deber a una serie de factores intrínsecos del proceso de transporte neumático o a un evento externo.

Dichas fluctuaciones en la caída de presión perturban todo el transporte neumático del material en polvo que se va a transportar, lo que provoca diferentes tipos de perturbaciones. Entre otras perturbaciones, se puede encontrar el hecho de que las fluctuaciones en la caída de presión provocan una modificación de la velocidad de transporte del material en polvo.

Tal como se explicó al principio, los flujos de material en polvo tienen una velocidad de saltación por debajo de la que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, comienza a sedimentarse en el tubo de transporte neumático mientras que el fluido de transporte soplado por los sopladores recibe un valor nominal seguro de velocidad, mayor que la velocidad de saltación, para evitar que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, se sedimente en el interior del tubo de transporte neumático.

De hecho, los sopladores se caracterizan por una curva entre la caída de presión y el caudal. La caída de presión es la impuesta por la planta dentro de la cual se realizará el transporte neumático y la curva de caracterización del soplador imparte un caudal al transporte neumático del material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, dependiendo del valor de la caída de presión que se produce en el interior de la planta.

Tan pronto como hay una pequeña fluctuación en la caída de presión, la caída de presión comienza a disminuir y aumentar sin que sea posible controlarla con la suficiente rapidez para no perturbar el transporte neumático del material en polvo. Como consecuencia, por ejemplo, entre otras cosas, cuando aumenta la caída de presión, la velocidad neumática o el caudal del fluido de transporte se reduce, provocando que posiblemente la velocidad del fluido de transporte alcance un valor inferior a la velocidad nominal segura, provocando por lo tanto que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo transportado neumáticamente se sedimente en el interior de la tubería de transporte neumático.

El material en polvo comienza por lo tanto a acumularse en el interior de la tubería de transporte neumático, lo que provoca a su vez fluctuaciones de la caída de presión a medida que se reduce el diámetro de paso de la tubería disponible para el transporte neumático, lo que provoca un aumento de la caída de presión que, a su vez, tiene consecuencias sobre el transporte neumático.

Tal como se puede entender, la fluctuación más pequeña en la caída de presión, que se produce independientemente del nivel de optimización del transporte neumático, tendrá consecuencias importantes en la eficiencia del transporte neumático del material en polvo, en concreto el sorbente en polvo en el interior de la tubería de transporte neumático.

Este fenómeno de fluctuación se produce en cualquier fluido de transporte cuando se sopla, pero, por supuesto, se amplifica aún más cuando se transporta un material en polvo, ya que el propio material en polvo no puede recuperar fácilmente el régimen correcto de caída de presión tan pronto como comienza a acumularse en el interior de la tubería de transporte neumático.

En el proceso según la presente invención, el dispositivo sónico 12 genera ondas sónicas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 hasta dicha zona receptora, y proporciona una neutralización de la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático hasta dicha zona receptora.

De hecho, se ha descubierto, sorprendentemente, que cuando las ondas sónicas generan un aumento de presión, el aumento de presión tiene la capacidad de neutralizar la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o en dicha zona receptora.

El dispositivo sónico crea preferentemente un aumento de presión en la primera tubería de transporte neumático cerca del generador sónico comprendida entre 20 y 200 mbar, en concreto de como mínimo 30 mbar, preferentemente de como máximo 150 mbar.

Preferentemente, cuando dicho dispositivo sónico proporciona una acción de neutralización sobre la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora, dicho dispositivo sónico proporciona una acción de suavizado y/o una acción de enmascaramiento sobre la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora.

Las ondas sónicas se utilizan para aumentar la caída de presión, lo que significa que las ondas sónicas según la presente invención se utilizan de tal manera que son capaces de neutralizar la etapa de fluctuación de la caída de presión, minimizando de este modo las perturbaciones que causan la acumulación de material en polvo en dicho transporte neumático en lugar de curar o actuar de manera retroactiva sobre la acumulación de partículas.

En la realización preferente mostrada, la neutralización de la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático 13 provoca la mejora de la captura de compuestos contaminantes reduciendo las fluctuaciones en el material en polvo, en concreto material mineral en polvo, alimentado en el conducto de gases de combustión por ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 durante dicho transporte neumático de material en polvo.

De hecho, se ha encontrado sorprendentemente que las ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte neumático de material en polvo tienen un impacto directo en las fluctuaciones en el transporte neumático de material en polvo alimentado en la zona receptora.

La utilización apropiada de ondas sónicas que se desplazan, creando un aumento de la caída de presión en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático 13 durante dicho transporte de material en polvo, puede resolver las fluctuaciones en el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo inyectado en el interior de la zona receptora.

Se ha demostrado que las ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de material en polvo evitan deficiencias en la captura de contaminantes en el interior del conducto de gases de combustión neutralizando muy rápidamente las fluctuaciones en la caída de presión, evitando de este modo que las partículas no tengan la velocidad suficiente para sedimentarse y permitiendo que sean transportadas por el transporte neumático y, como consecuencia, que aún lleguen al conducto de gases de combustión. De hecho, las ondas sónicas chocan con las partículas que tienen una tendencia a sedimentarse contra la pared de la primera tubería de transporte neumático cuando no tienen la velocidad suficiente para ser transportadas neumáticamente como resultado de la existencia de una capa límite.

De hecho, la combinación de la utilización adecuada de las ondas sónicas crea un aumento de la caída de presión en la primera tubería de transporte neumático junto con la colisión entre las partículas del material en polvo y las ondas sónicas que tienen una frecuencia fluctuante de las ondas que cambian la ubicación de los antinodos y los nodos de vibración del sonido en la tubería.

La figura 3 muestra otra posible ubicación de un dispositivo sónico en un sistema de transporte neumático según la presente invención.

Tal como se puede ver, en esta realización, el dispositivo sónico no está situado en la primera tubería de transporte neumático 13, sino que está colocado en paralelo y está conectado a la primera tubería de transporte neumático 13 a través de un conducto de salida 29 que llega a la primera tubería de transporte neumático antes del dispositivo de mezcla. El dispositivo sónico es un dispositivo de extremo sin salida.

La figura 4 muestra otra posible ubicación de un dispositivo sónico en un sistema de transporte neumático según la presente invención.

Tal como se puede ver, en esta realización, el dispositivo sónico no está situado en la primera tubería de transporte neumático 13, sino que está colocado en paralelo y está conectado a la primera tubería de transporte neumático 13 a través de un conducto de salida 29 que llega a la primera tubería de transporte neumático antes del dispositivo de mezcla. El dispositivo sónico 12 es un dispositivo de soplado y está conectado por un conducto de entrada 30 a otro soplador 6.

La figura 4A muestra un sistema de transporte neumático multilínea, en el que un dispositivo sónico 12 está situado aguas arriba del medio de dosificación 5 de ambas tuberías de transporte neumático mostradas.

La figura 5 es un diagrama de flujo de Jenicke para material en polvo que muestra el comportamiento cohesivo del material en polvo cuando es cal hidratada.

Tal como se ha dicho anteriormente, el problema de la adherencia a objetos sólidos es cada vez más importante para partículas de diámetro de partícula decreciente, debido a la mayor contribución de las fuerzas electrostáticas en comparación con las fuerzas de fricción, impulso y gravedad.

Las partículas de cal hidratada con diámetro ($<100 \mu\text{m}$) en general se clasifican como cohesivas según la clasificación de Geldart, y sus propiedades de flujo pueden ser evaluadas en detalle utilizando la clasificación de la función de flujo según Jenicke.

Con la función de flujo de Jenicke se mide la cohesión interna del polvo y esto se puede considerar como un buen indicador de las propiedades de **adherencia** de un polvo.

En la figura 5, se muestra la cohesión de dos polvos de cal hidratada. El polvo A tiene un tamaño de partícula de $d_p = 10 \mu\text{m}$ mientras que el polvo B tiene un tamaño de partícula de $d_p = 3 \mu\text{m}$. Está claro que el polvo B es más cohesivo y se clasifica mediante la función de flujo como "muy cohesivo". Como resultado, el polvo B será mucho más sensible a la adherencia a las paredes rígidas de las tuberías que el polvo A. El polvo C es un polvo que fluye fácilmente, el polvo D es un polvo que fluye libremente, mientras que el polvo E es un polvo pegajoso.

Ejemplo.-

Se han realizado pruebas a escala industrial, en una planta de energía, para evaluar los efectos de la presente invención para el transporte neumático de sorbente de cal hidratada en polvo, en concreto en términos de la fluctuación de la caída de presión dentro de la planta.

La planta de energía utilizada en estas pruebas, que se muestra en la figura 7, comprende un quemador (15), un horno (31) para quemar carbón, estando conectado dicho horno a un conducto de gases de combustión en el que los gases de combustión generados en dicho horno son dirigidos a un precipitador electrostático (9), seguido de un depurador (32) y, a continuación, evacuados a una chimenea (10).

La cal hidratada se inyecta en el conducto de gases de combustión de esta planta de energía, antes del precipitador electrostático y antes de la chimenea, para capturar contaminantes gaseosos, en concreto SO_2 . Dicho sorbente es una cal hidratada de área superficial específica alta, tal como se da a conocer en la Patente WO9714650.

La planta comprende, además, un depósito de almacenamiento (2) para dicha cal hidratada en polvo, estando conectado dicho depósito al horno a través de una tolva (3) que tiene dos salidas para dirigir dicha cal hidratada en polvo en paralelo hacia dos tuberías de transporte neumático (13, 13') a una velocidad de alimentación idéntica. Las tuberías de transporte (13, 13') presentan ambas un diámetro de 4 pulgadas (10,2 cm). La velocidad de alimentación de cal hidratada se ajusta periódicamente, en base a la cantidad de carbón quemado en el horno y a la cantidad de azufre contenido en el mismo.

Ambas tuberías de transporte son alimentadas por sopladores (1, 1') con aire (15, 15') como fluido de transporte.

Los fluidos de transporte (15, 15') son secados primero mediante dispositivos de secado (14, 14') antes de entrar en los sopladores (1, 1') y, a continuación, enfriados aún más mediante dispositivos de enfriamiento (4, 4') después de ser sopladados por los sopladores. Los sopladores (1, 1') presentan una caída de presión inicial fijada en aproximadamente 10 kPa.

Con el fin de mostrar la presente invención, el fluido de transporte (15') se transfiere adicionalmente a un dispositivo sónico (12'), tal como se describió anteriormente, antes de estar en contacto con la cal hidratada.

Las caídas de presión en ambas tuberías de transporte (13, 13') son medidas de manera continua por los sopladores (1, 1').

En consecuencia, con esta planta, es posible comparar en tiempo real la fluctuación de la caída de presión, generada en concreto por la variación en el tiempo de la velocidad de alimentación de la inyección de cal hidratada, en una tubería de transporte en la que no se ha implementado ningún dispositivo sónico, en comparación con una tubería de transporte según la presente invención, que comprende un dispositivo sónico, tal como se describió anteriormente.

Los resultados se muestran en las figuras 6 y 6A.

La figura 6 muestra la presión en las líneas medida en función del tiempo durante un período de cinco días consecutivos de funcionamiento. La figura 6 representa el caso de referencia, es decir, el dispositivo sónico no está en funcionamiento y las condiciones para las líneas 13' y 13 son similares. De la figura 6 se desprende claramente que se producen grandes fluctuaciones en las lecturas de presión, y que estas fluctuaciones de presión son similares tanto para la línea 13' como para la 13. La Tabla 1 muestra un análisis estadístico de las lecturas de presión de la figura 6.

Tabla 1.- Análisis estadístico de las señales de presión de las líneas 13' y 13 con el dispositivo sónico no en funcionamiento.

	Línea 13' Sin Sónico	Línea 13 Sin Sónico	
Presión Promedio	1,82	2,43	(PSI)
Fluctuaciones de presión	0,54	0,53	(PSI)
Fluctuación de la presión relativa	29,6	21,7	(%)

De la Tabla 1 se puede concluir que tanto la línea 13' como la 13 funcionan a una presión promedio similar, y que la línea 13' funciona a una presión promedio menor. La fluctuación de presión de las dos líneas se representa en la Tabla 1 como la desviación estándar (1σ) de la señal de presión. Es evidente que la fluctuación de presión es prácticamente idéntica para las dos líneas. Esto significa que, con el dispositivo sónico no en funcionamiento, la pérdida de presión y la variación de presión son similares. Finalmente, se representa la fluctuación de presión relativa en la Tabla 1, que es la relación entre la desviación estándar y la presión promedio. Puesto que la presión promedio en la línea 13' es un poco menor, el efecto relativo de las fluctuaciones de presión es un poco mayor. La fluctuación de presión relativa está comprendida entre el 22 y el 30 % en las dos líneas. Dicha variación de presión es muy importante, y generará variaciones en el caudal de gases del sistema de transporte neumático. Cabe señalar que la fluctuación de presión notificada es un número promedio para los cinco días completos de funcionamiento, las fluctuaciones de presión instantáneas son significativamente mayores.

La figura 6A muestra la señal de presión de las líneas 13' y 13 en el caso de que el dispositivo sónico esté en funcionamiento en la línea 13' durante un período de cinco días. Es evidente que la presión en la línea 13' es significativamente mayor que en la línea 13. Aparentemente, accionar la línea 13' con el dispositivo sónico genera una mayor pérdida de presión. Cabe señalar que, en el caso de funcionamiento sin dispositivo sónico, la línea 13' mostró una presión ligeramente menor que la línea 13; véase la figura 6. Un análisis estadístico de la señal de presión de la figura 6A se proporciona en la Tabla 2.

Tabla 2.- Análisis estadístico de las señales de presión de las líneas 13' y 13 con el dispositivo sónico en funcionamiento

	Línea 13' Con Sónico	Línea 13 Sin Sónico	
Presión Promedio	4,96	2,91	(PSI)
Fluctuaciones de presión	0,35	0,51	(PSI)
Fluctuación de la presión relativa	7,0	17,7	(PSI/PSI)

En primer lugar, la Tabla 2 muestra que la presión promedio es casi un factor de dos (1,7) mayor en la línea con el dispositivo sónico en funcionamiento (13') que en la línea sin dispositivo sónico (13). Las fluctuaciones de presión, representadas en la Tabla 2 como la desviación estándar (1σ) de la señal de presión, muestran que la línea con dispositivo sónico en funcionamiento (13') es mucho más estable que la línea sin dispositivo

sónico (13). La desviación estándar de la señal de presión es casi una vez y media (1,45) mayor para la línea sin dispositivo sónico (13) que para la línea con dispositivo sónico.

5 Para la línea con dispositivo sónico en funcionamiento (13') una consecuencia de la combinación de una presión promedio más alta y una desviación estándar baja es que la fluctuación de presión relativa (cociente de la desviación estándar y la presión media) es más de 2,5 veces menor. La línea (13), sin dispositivo sónico, muestra una fluctuación de presión relativa del 18 % que es similar al 22 % encontrado en el marco temporal mostrado en la figura 6 y la Tabla 1. Para la línea con dispositivo sónico en funcionamiento (13') la
10 fluctuación de presión relativa es de solo el 7 %. Esta fluctuación de presión más baja, tanto absoluta como relativa, dará como resultado una estabilidad significativamente mejorada del sistema de transporte neumático.

De las figuras 6, 6A y del análisis estadístico de las tablas 1, 2 se desprende claramente que el dispositivo sónico da como resultado una amortiguación de las fluctuaciones de presión y, como consecuencia, una
15 estabilidad mejorada del sistema de transporte neumático.

Además, el funcionamiento a una presión promedio más alta, en caso de que el dispositivo sónico esté en funcionamiento, hará que las perturbaciones de presión en el conducto de gases de combustión tengan un efecto menor en la presión en la línea de transporte y, como consecuencia, un impacto menor en la velocidad
20 del aire neumático. Esto da como resultado una operación de transporte neumático más estable.

REIVINDICACIONES

1. Proceso para transportar neumáticamente un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, que comprende las etapas de:

5

- transportar neumáticamente un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, en una primera tubería de transporte neumático desde un depósito de almacenamiento de material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, hasta una zona receptora, comprendiendo dicha primera tubería de transporte neumático una pared de tubería, y estando conectada a dicho depósito de almacenamiento de material en polvo, en

10

concreto dicho sorbente en polvo, y a dicha zona receptora,
- una etapa de dosificación de material en polvo, en concreto de un sorbente en polvo, mediante un medio de dosificación para dosificar una cantidad de dicho material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo, cuando entra desde dicho depósito de almacenamiento de material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo, en dicha primera tubería de transporte neumático, estando conectada dicha primera tubería de

15

transporte neumático a dicho depósito de almacenamiento de material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo, a través de dicho medio de dosificación,
- una etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora,

20

- generar ondas infrasonicas mediante un dispositivo de infrasonidos en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora, proporcionando una neutralización en la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora,

25

en el que, cuando dicho dispositivo de infrasonidos proporciona una neutralización en la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora, dicho dispositivo de infrasonidos proporciona una acción de suavizado y/o una acción de enmascaramiento en la etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicha zona receptora,

30

en el que dichas ondas infrasonicas son generadas en el interior de un dispositivo de infrasonidos que comprende una primera cámara y una segunda cámara, estando ambas primera y segunda cámaras conectadas entre sí por un tubo,

caracterizado por que

35

dicho material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo, es transportado neumáticamente en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático y hacia el interior de dicha zona receptora mediante un flujo generado por un soplador conectado a dicha primera tubería de transporte neumático, y que sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático en el que se transportan partículas de dicho material en polvo, en concreto dicho sorbente en polvo,

40

en el que el soplador conectado a dicha primera tubería de transporte neumático y que sopla fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático también sopla dicho fluido de transporte como mínimo parcialmente a través de dicho dispositivo de infrasonidos,

45

en el que dichas ondas infrasonicas son generadas por un excitador en el interior de la primera cámara que proporciona pulsos infrasonicos a dicho fluido de transporte soplado, como mínimo parcialmente, en el interior de dicha primera cámara, siendo transportadas dichas ondas infrasonicas generadas a través del tubo para alcanzar la segunda cámara,

50

en el que una primera parte de dicho fluido de transporte soplado por dicho soplador es transportada a través de dicho tubo desde dicha primera cámara hasta dicha segunda cámara, mientras que una segunda parte de dicho fluido de transporte soplado por dicho soplador es derivada e introducida en el interior de dicha segunda cámara.

2. Proceso para transportar neumáticamente un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, según la reivindicación 1, en el que el material en polvo, en concreto el sorbente en polvo, se selecciona del grupo que consiste en cal hidratada, dolomía hidratada o semihidratada, caliza, dolomita, cal viva, cal viva dolomítica, carbonato o bicarbonato de sodio, dihidrato de sesquicarbonato de sodio, haloisita, sepiolita, un compuesto orgánico carbonoso seleccionado de entre carbón activo y coque de lignito, cenizas volantes o una mezcla de cualquiera de estos compuestos.

60

3. Proceso para transportar neumáticamente un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que dicho fluido de transporte es aire, gas inerte, gases de escape o una mezcla de los mismos.

65

4. Proceso para transportar neumáticamente un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que las ondas infrasonicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de material en polvo, en concreto de sorbente en polvo, también entran en contacto con dicho medio de dosificación.

5. Proceso para transportar neumáticamente un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que las ondas infrasónicas se desplazan en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de material en polvo, en concreto de sorbente en polvo y, preferentemente, también se desplazan hasta la zona receptora.
6. Proceso para transportar neumáticamente un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que se impide que las ondas infrasónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de material en polvo, en concreto sorbente en polvo, lleguen al soplador debido a una trampa de graves de Helmholtz conectada a dicha primera cámara o, preferentemente, en la tubería entre el soplador y la primera cámara.
7. Proceso para transportar neumáticamente un material en polvo, en concreto un sorbente en polvo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende un modo de emergencia y un modo de funcionamiento, en el que en el modo de emergencia, se impide que el fluido de transporte soplado entre en dicha primera cámara y es derivado y soplado directamente a dicha primera tubería de transporte neumático, aguas abajo del dispositivo de infrasonidos, y en el que en el modo de funcionamiento, el fluido de transporte soplado es proporcionado como mínimo parcialmente a dicha primera cámara.
8. Proceso para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión, que comprende las etapas de:
 - quemar combustible y/o un material que se va a quemar, o calentar un material que se va a calentar o fundir, produciendo gases de combustión en una zona receptora,
 - transportar neumáticamente un sorbente en polvo previsto para capturar dichos compuestos contaminantes, según el proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, siendo dicha zona receptora un conducto de gases de combustión,
 - capturar compuestos contaminantes mediante dicho sorbente en polvo en el interior de dicho conducto de gases de combustión, empobreciendo de este modo los gases de combustión, en compuestos contaminantes.
9. Proceso para mejorar la captura de compuestos contaminantes de gases de combustión, según la reivindicación 8, en el que una etapa de fluctuación de las condiciones de funcionamiento de dicha etapa de quema de combustible y/o de dicho material que se va a quemar o a calentar o a fundir genera una primera señal, y/o la etapa de fluctuación de la caída de presión en el interior de dicha primera tubería de transporte, comprendiendo, además, dicho proceso una etapa de ajuste de dicha cantidad de sorbente en polvo en respuesta a dicha primera señal y/o a dicha etapa de fluctuación de la caída de presión en el interior de dicha primera tubería de transporte.
10. Proceso para mejorar la captura de compuestos contaminantes de gases de combustión, según la reivindicación 9, en el que dicha primera señal es tal como la velocidad del viento del entorno a la salida de la chimenea, la presión atmosférica del entorno a la salida de la chimenea o fuera de dicho conducto de gases de combustión, la temperatura de los gases de combustión, la naturaleza del combustible, el contenido de azufre del combustible, el contenido de azufre de los gases de combustión, el contenido de cloruro de los gases de combustión, el contenido de mercurio de los gases de combustión, el contenido de cloruro del material que se va a quemar o calentar o fundir, el contenido de azufre del material que se va a quemar o calentar o fundir, el contenido de mercurio del material que se va a quemar o calentar o fundir, y su combinación.
11. Dispositivo para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión, de acuerdo con los procesos según la reivindicación 8, que comprende:
 - un horno o cámara de combustión, previsto para quemar combustible y/o un material que se va a quemar o calentar o fundir y producir gases de combustión, estando dicho horno o cámara de combustión conectado a un conducto de gases de combustión hacia donde son dirigidos los gases de combustión generados en dicho horno o cámara de combustión,
 - un depósito de almacenamiento de sorbente en polvo, conectado a dicho conducto de gases de combustión por medio de una primera tubería de transporte neumático,
 - un medio de dosificación de sorbente en polvo, previsto para dosificar una cantidad de dicho sorbente en polvo cuando entra desde dicho depósito de almacenamiento de sorbente en polvo en dicha primera tubería de transporte neumático, estando dicha primera tubería de transporte neumático conectada a dicho depósito de almacenamiento de sorbente en polvo a través de dicho medio de dosificación,
 - un dispositivo de control, para ajustar dicha cantidad de sorbente en polvo en respuesta a una primera señal,
 - un dispositivo de infrasonidos, conectado a dicha primera tubería de transporte neumático y previsto para generar ondas infrasónicas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicho

conducto de gases de combustión, estando previsto dicho dispositivo de infrasonidos, además, para neutralizar una etapa de fluctuación de la caída de presión en dicha primera tubería de transporte neumático y/o hasta dicho conducto de gases de combustión, en el que dicho dispositivo de infrasonidos comprende una primera cámara y una segunda cámara conectadas entre sí por un tubo,

5

caracterizado por que

dicha primera tubería de transporte neumático está conectada, además, a un soplador previsto para transportar neumáticamente dicho sorbente en polvo desde dicho depósito de almacenamiento de sorbente en polvo en dicha primera tubería de transporte neumático, hasta dicho conducto de gases de combustión, comprendiendo dicha primera tubería de transporte neumático una pared de tubería y estando conectada a dicho conducto de gases de combustión, estando previsto dicho soplador para generar un flujo de fluido de transporte en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático en la que se transportan partículas de dicho sorbente en polvo,

10

en el que dicha primera cámara comprende un excitador situado en el interior de dicha primera cámara, previsto para generar dichas ondas infrasónicas proporcionando pulsos infrasónicos a dicho fluido de transporte soplado como mínimo parcialmente en el interior de dicha primera cámara, siendo transportadas dichas ondas infrasónicas generadas, a través del tubo que actúa como una tubería de resonancia, para alcanzar la segunda cámara,

15

en el que el dispositivo comprende, además, un tubo distribuidor de caudal regulable conectado en un primer extremo, ya sea al soplador, entre el soplador y la primera cámara o a la primera cámara, y en un segundo extremo a la segunda cámara, estando previsto dicho tubo distribuidor de caudal regulable para derivar una parte de dicho fluido de transporte soplado por el soplador e introducirlo en el interior de la segunda cámara.

20

12. Dispositivo para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión, según la reivindicación 11, que comprende, además, un dispositivo de mezcla o conexión situado entre dicho medio de dosificación y dicha primera tubería de transporte neumático, previsto para mezclar dicho sorbente en polvo en dicho fluido de transporte.

25

13. Dispositivo para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión, según la reivindicación 11 o la reivindicación 12, en el que dicho dispositivo de infrasonidos está conectado a dicho soplador y a la primera tubería de transporte neumático.

30

14. Dispositivo para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión, según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que el depósito de almacenamiento de sorbente en polvo es un depósito de almacenamiento de sorbente en polvo seleccionado del grupo que consiste en cal hidratada, dolomía hidratada o semihidratada, caliza, dolomita, cal viva, cal viva dolomítica, carbonato o bicarbonato de sodio, dihidrato de sesquicarbonato de sodio, haloisita, sepiolita, un compuesto orgánico carbonoso seleccionado de entre carbón activo y coque de lignito, cenizas volantes o una mezcla de cualquiera de estos compuestos.

35

40

15. Dispositivo para mejorar la captura de compuestos contaminantes de los gases de combustión, según la reivindicación 13 o la reivindicación 14, que comprende, además, una trampa de graves de Helmholtz conectada a dicha primera cámara o, preferentemente, en la tubería entre el soplador y la primera cámara, prevista para impedir que las ondas infrasónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo lleguen al soplador.

45

16. Dispositivo para mejorar la captura de compuestos contaminantes de gases de combustión, según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, que comprende un dispositivo de emergencia que tiene una primera posición que es una posición de emergencia, y una segunda posición que es una posición de funcionamiento, comprendiendo dicho dispositivo de emergencia un interruptor conectado a un tubo de emergencia que conecta directamente el soplador a la primera tubería de transporte neumático, aguas abajo del dispositivo de infrasonidos, siendo dicha posición de emergencia una posición en la que el interruptor impide que el fluido de transporte soplado entre en dicha primera cámara y lo desvía directamente a dicha primera tubería de transporte neumático, aguas abajo del dispositivo de infrasonidos y en el que la posición de funcionamiento es una posición en la que el fluido de transporte soplado es proporcionado, como mínimo parcialmente, a dicha primera cámara.

50

55

17. Dispositivo para mejorar la captura de compuestos contaminantes de gases de combustión, según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, en el que dicho medio de dosificación se selecciona de entre un tornillo de dosificación, una válvula rotativa con un eje vertical o un eje horizontal, una corredera de aire, un alimentador de chorro, un alimentador de tornillo, un alimentador de esclusa de aire, una bomba de tornillo, un recipiente a presión, un elevador de aire, estando situado dicho medio de dosificación entre dicho depósito de almacenamiento de sorbente en polvo y dicha primera tubería de transporte neumático, estando previsto para entrar en contacto con las ondas sónicas transportadas en el interior de dicha primera tubería de transporte neumático durante dicho transporte de sorbente en polvo.

60

65

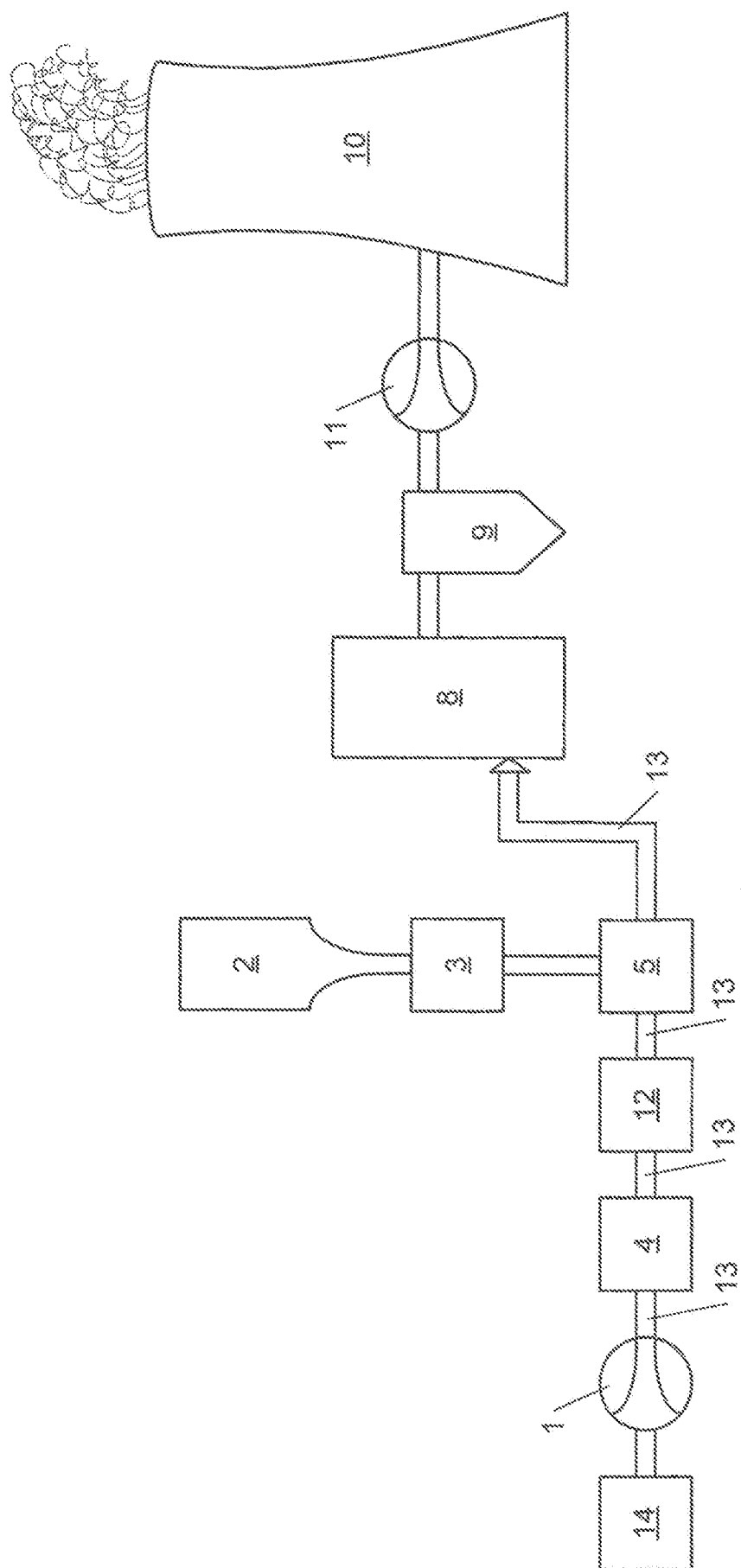


Fig. 1A

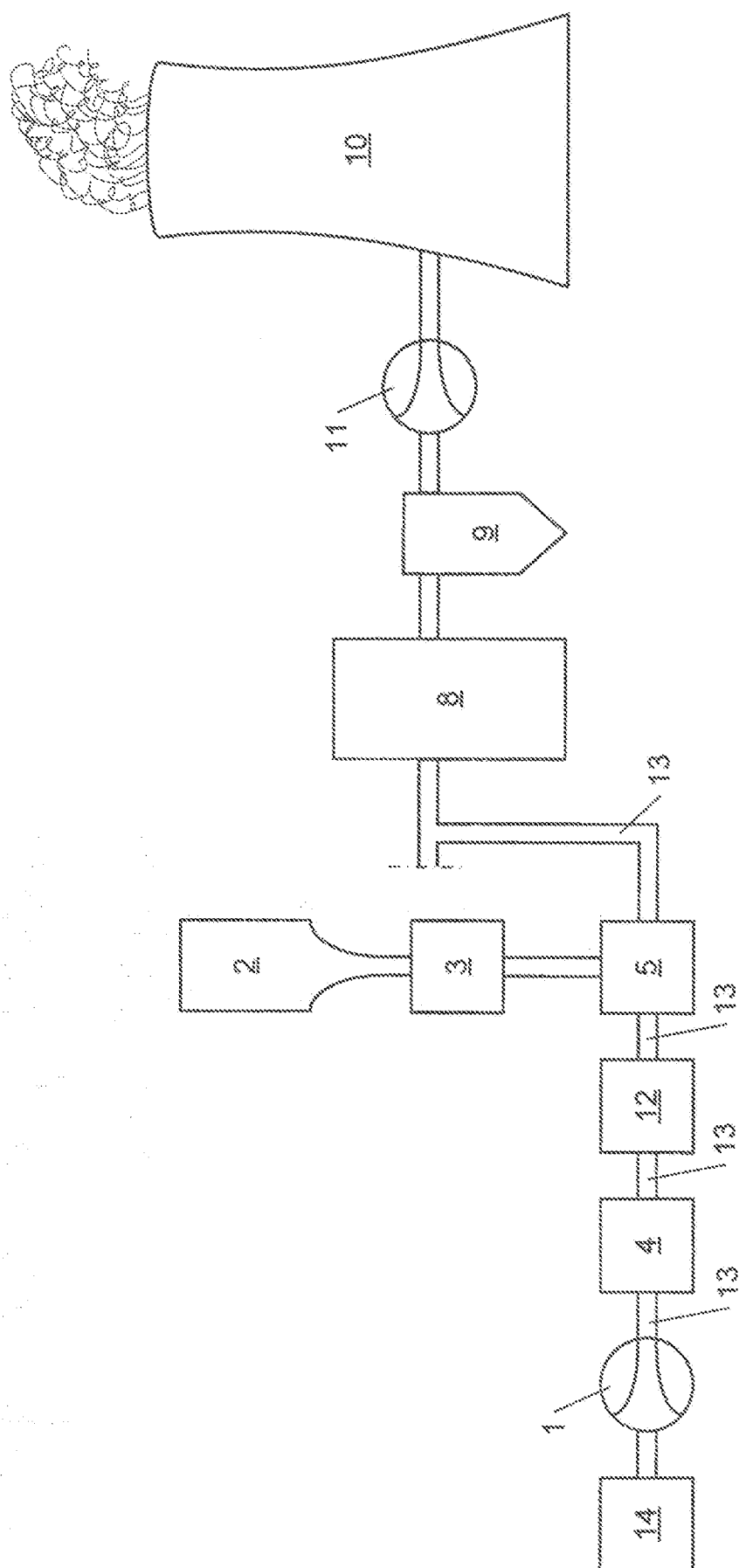
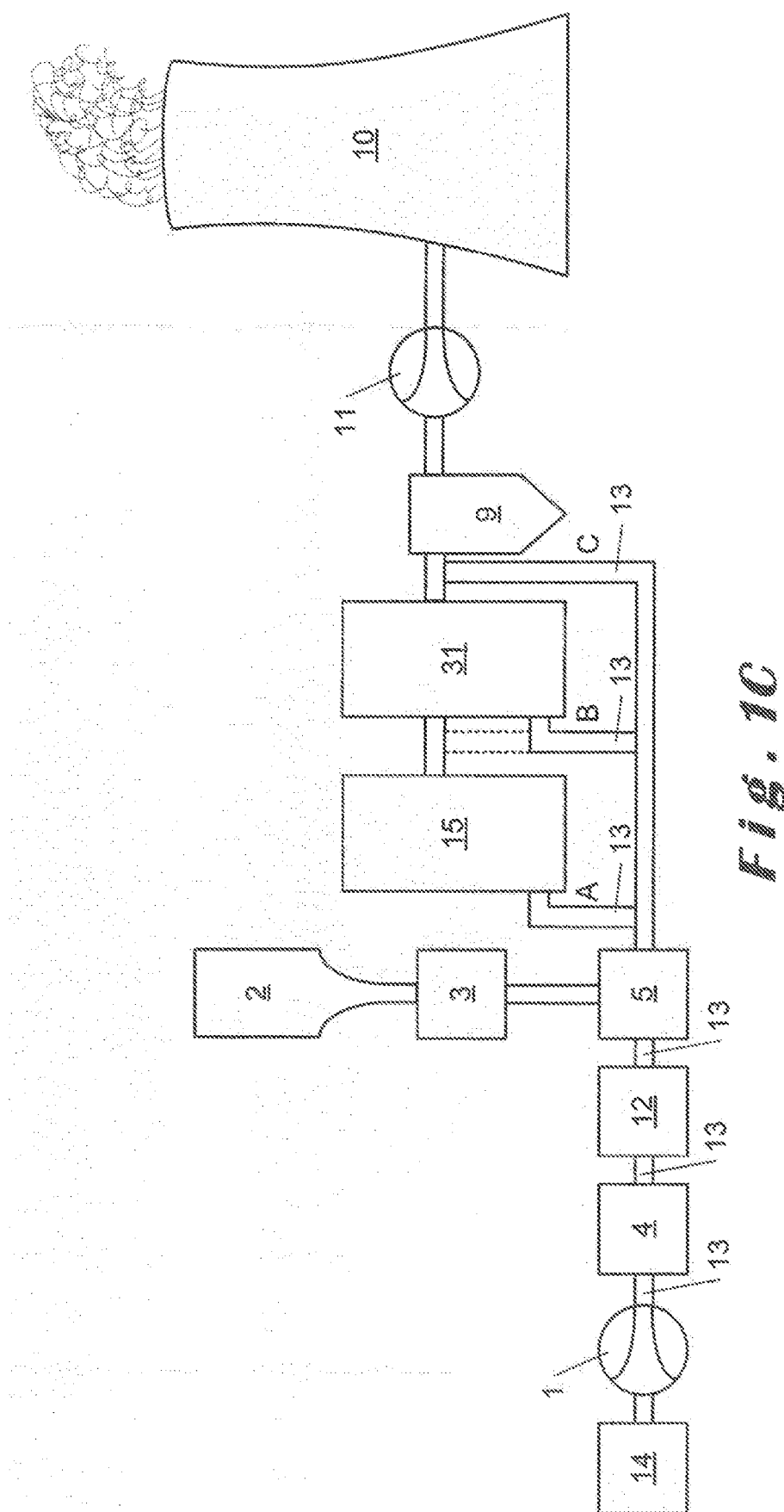
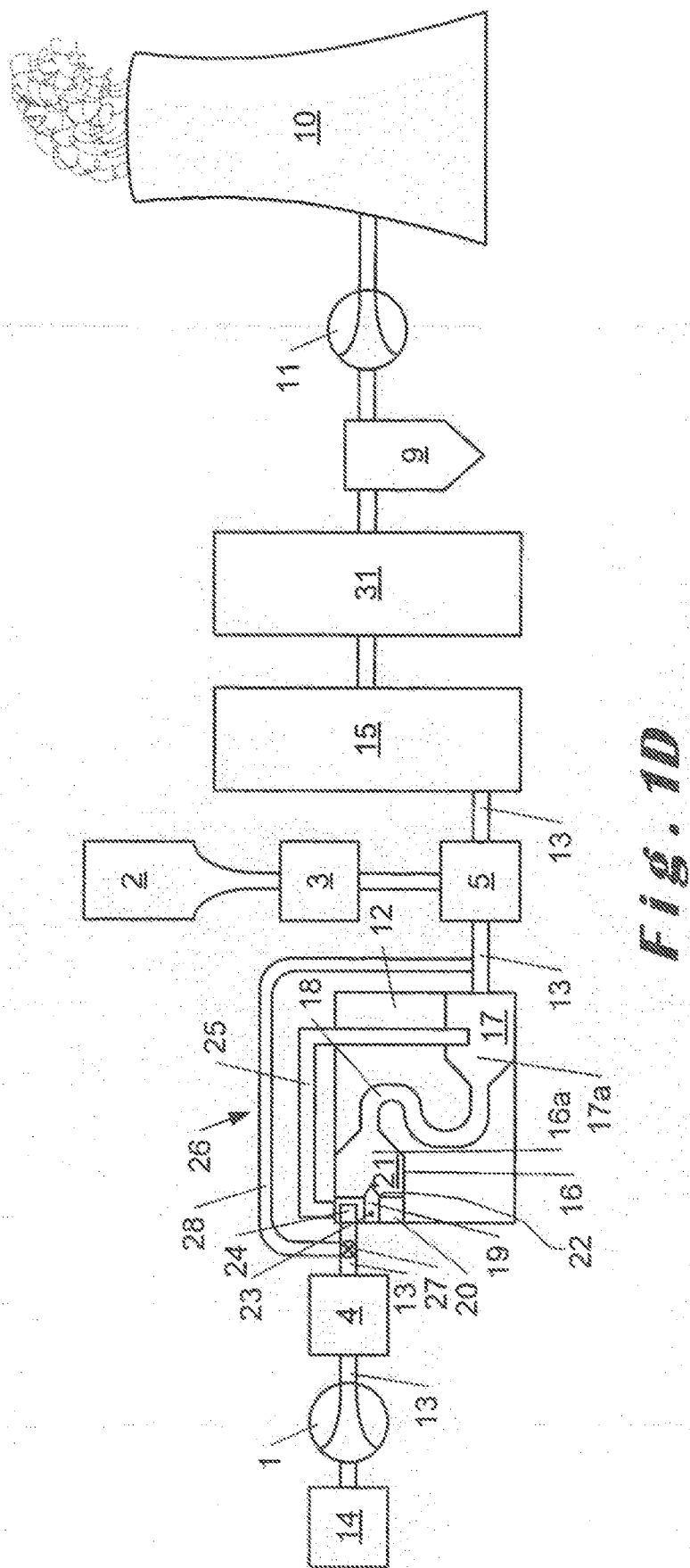


Fig. 1B





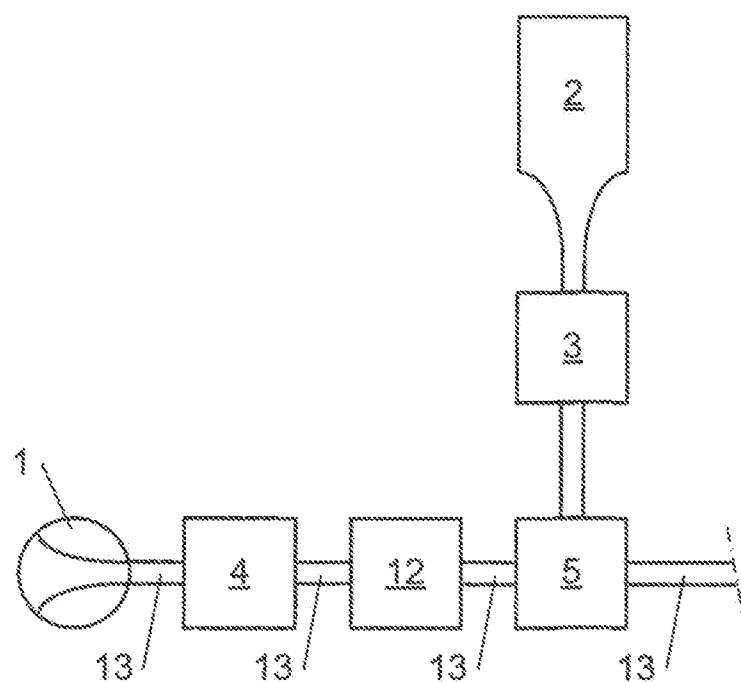


Fig. 2

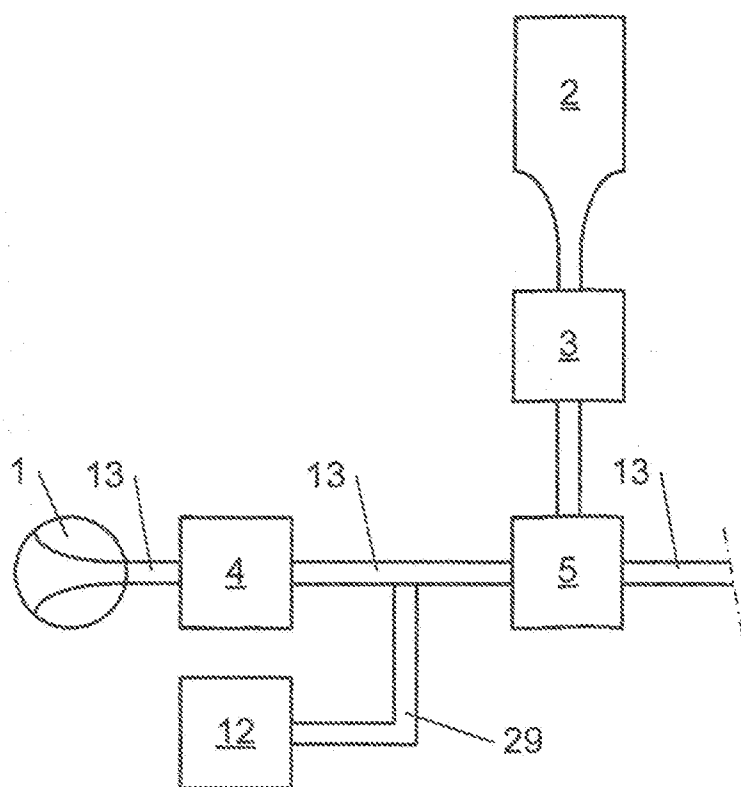
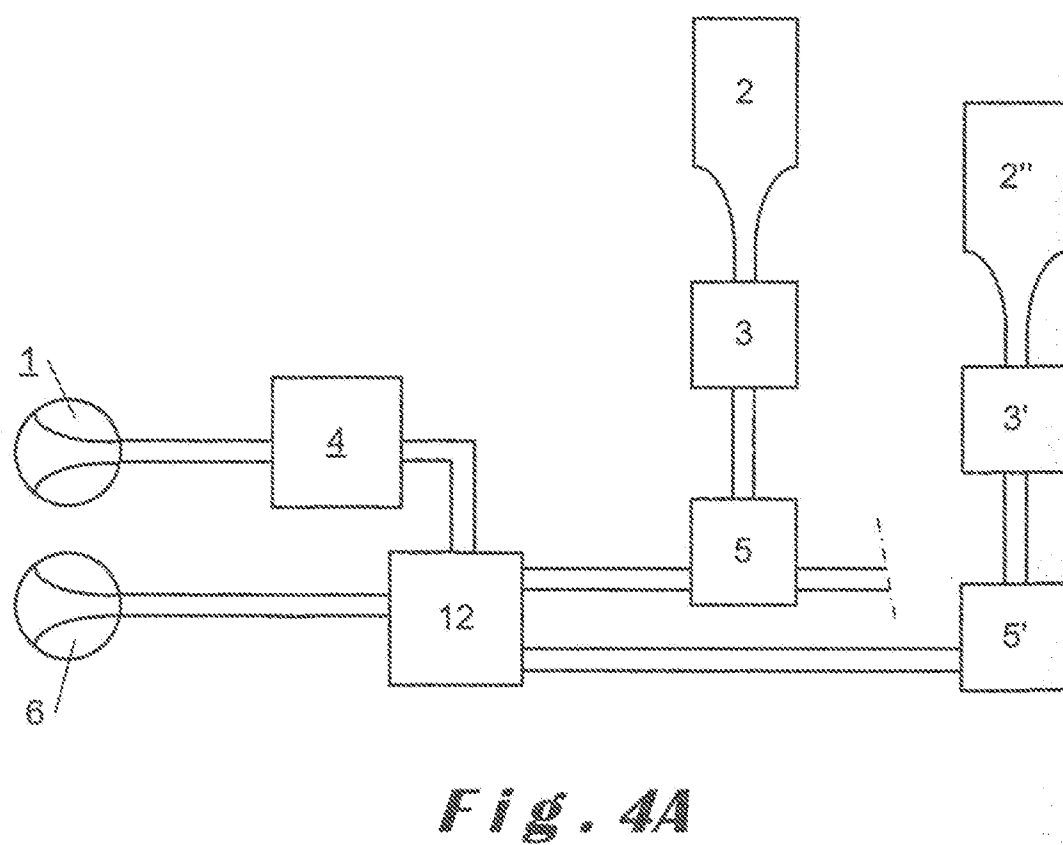
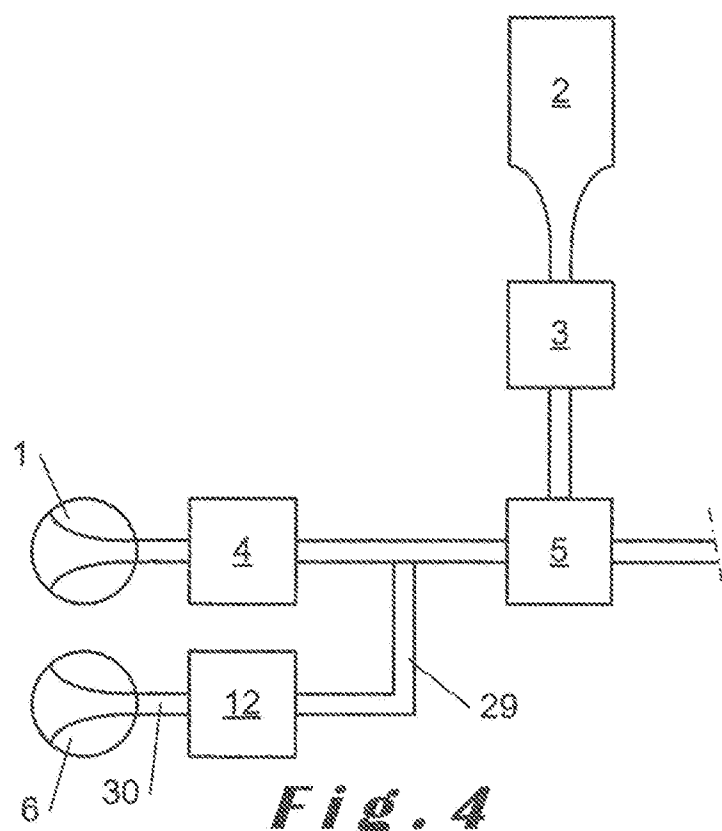


Fig. 3



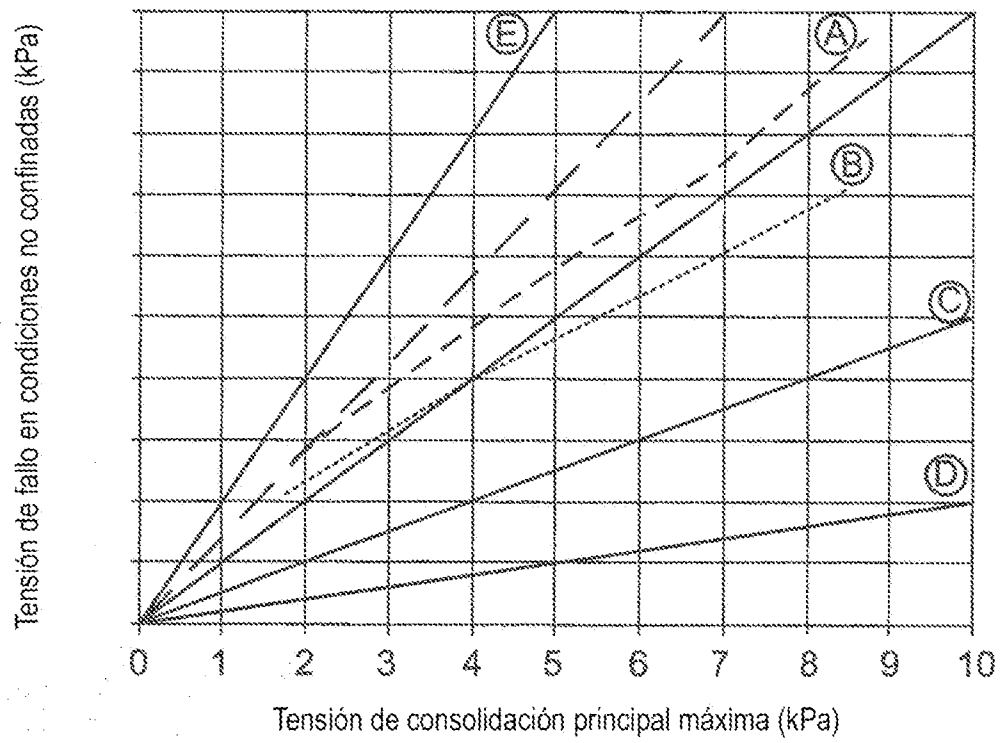


Fig. 5

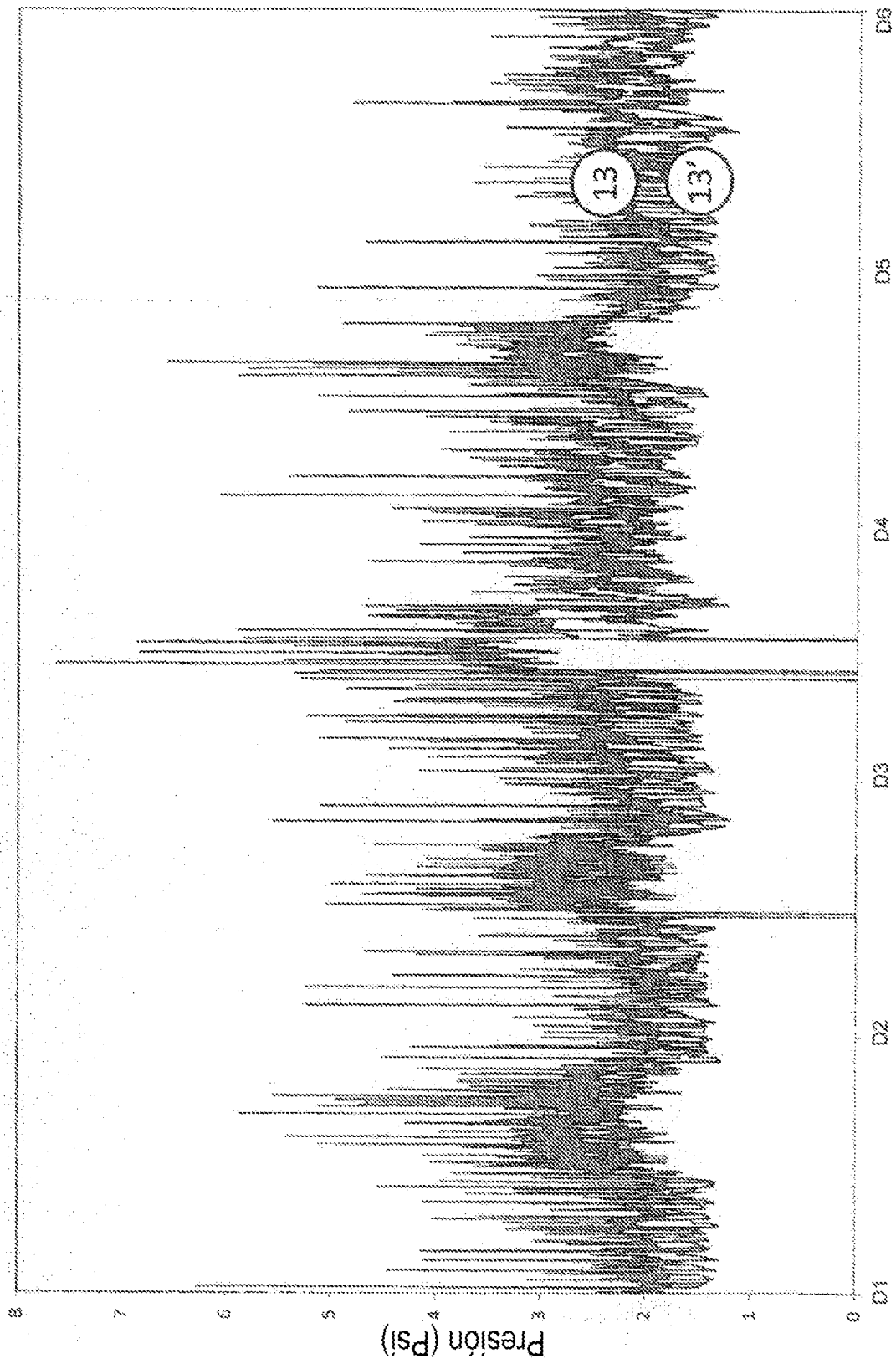


Fig. 6

Tiempo (días)

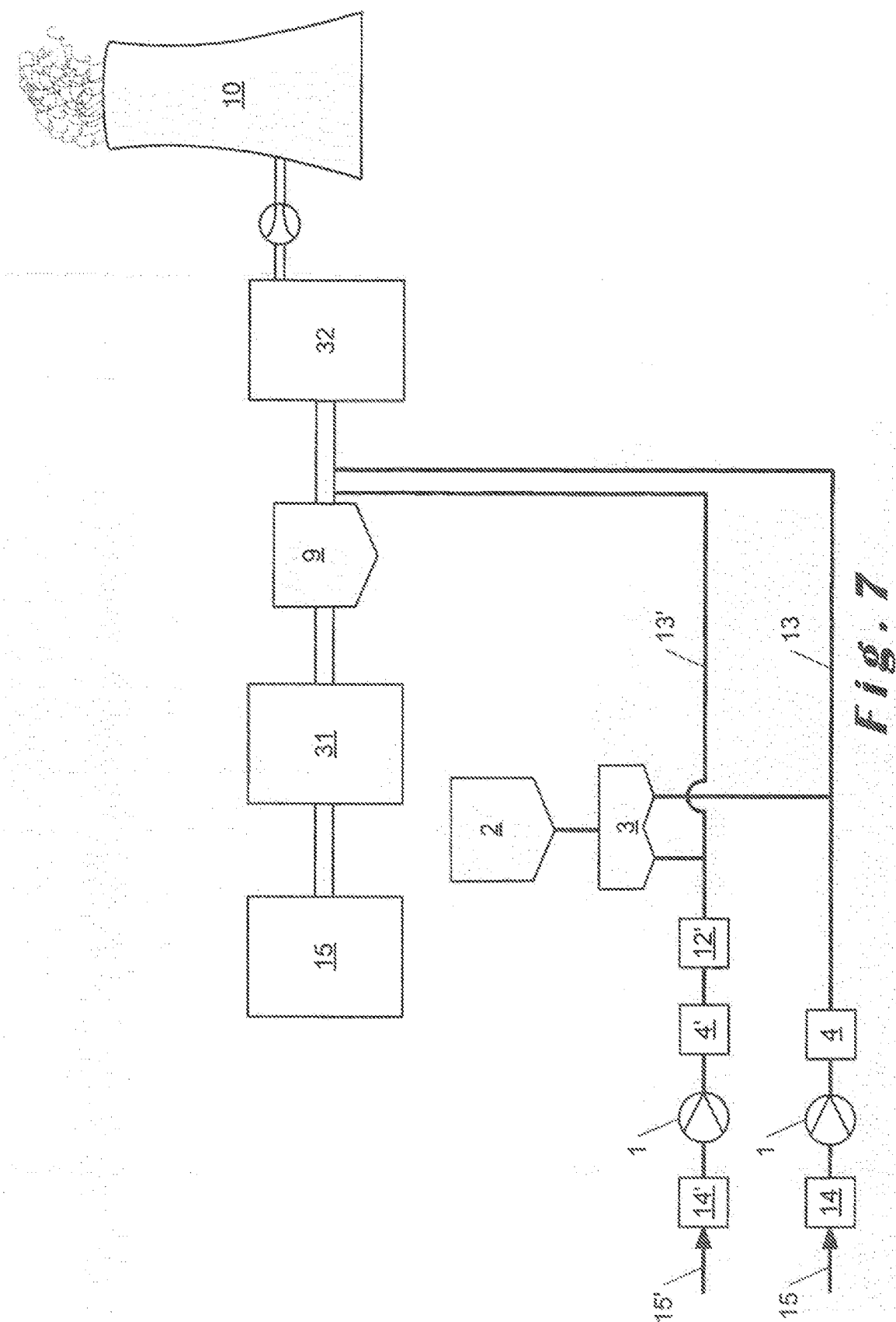


Fig. 7