

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 630 207**

51 Int. Cl.:

H05B 3/60 (2006.01)

B01J 8/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.10.2007 PCT/FR2007/052144**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.07.0008 WO08081123**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2007 E 07858571 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2017 EP 2103184**

54 Título: **Procedimiento de tratamiento térmico de materiales pulverulentos**

30 Prioridad:

21.12.2006 FR 0655793

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

18.08.2017

73 Titular/es:

**REVTECH (100.0%)
50 ALLEE DES ABRICOTIERS PARC
D'ACTIVITES CHAMPGRAND
26270 LORIOLE SUR DROME, FR**

72 Inventor/es:

MITZKAT, MARTIN

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 630 207 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

Procedimiento de tratamiento térmico de materiales pulverulentos.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de tratamiento térmico y, más particularmente, de calentamiento de productos y materiales pulverulentos y polvos empleados en la industria, en particular en las industrias químicas y la construcción, por ejemplo.

10 El recalentamiento continuo de productos pulverulentos en la industria es un campo muy amplio dominado por equipos mecánicos voluminosos tales como hornos rotativos y lechos fluidizados que utiliza una acción externa (rotación, vibración) para hacer avanzar y para remover partículas de los polvos cuando tiene lugar su subida de temperatura. Existen asimismo unas técnicas de avance mecánico que actúan directamente sobre el producto tal como el tornillo de Arquímedes u hornos de banda. Las fuentes de calentamiento en prácticamente todos estos casos son unos combustibles fósiles tales como el gasóleo pesado o el gas natural.

15 En el documento JP 06003050 se describe el secado de un material pulverulento haciéndolo pasar a través de un tubo de cuarzo dispuesto verticalmente, estando dicho tubo dispuesto en el interior de un horno de calentamiento.

20 El calentamiento de productos pulverulentos es más difícil que el calentamiento de líquidos ya que es necesario remover estos productos cuando tiene lugar su subida de temperatura con el fin de reducir su tiempo de calentamiento. Un aparato típico para realizar esta operación es un horno rotativo que remueve el lecho de producto por la rotación del cilindro. Un lecho fluidizado obtiene el mismo resultado pasando una corriente de aire a través del producto con el fin de hacerlo fluido y para mejorar así sus coeficientes de intercambio interno de calor. Unos sistemas vibratorios permiten fluidizar un producto pulverulento, pero con unos coeficientes de intercambio globales que se sitúan entre los hornos rotativos y los lechos aerofluidizados.

25 Las temperaturas obtenidas con los hornos rotativos pueden ser elevadas si el interior del cilindro está revestido con materiales adecuados de tipo ladrillos refractarios. Pero en este caso, el aparato se vuelve muy pesado y voluminoso ya que el cilindro que está en rotación no debe ceder bajo el efecto del peso ni de la temperatura. Un ejemplo típico de estos hornos es un horno de cementera.

30 Un lecho fluidizado se puede utilizar para obtener altas temperaturas, al mismo nivel de la combustión como en el ejemplo de un quemador de lecho fluidizado en una central eléctrica donde el producto a calentar es el propio combustible.

35 Estos dispositivos son voluminosos y necesitan un segundo sistema capaz de proporcionar la energía necesaria para el calentamiento del producto, o en forma de un generador de aire caliente, o unos quemadores en contacto directo con el producto o la superficie de calentamiento. El rendimiento es frecuentemente pequeño debido a que se ponen en juego grandes cantidades de aire y éstas son desechadas después del tratamiento. Son necesarias unas inversiones suplementarias para recuperar este calor (intercambiadores de alta temperatura, etc.).

40 El objetivo de la invención es obtener un procedimiento y un dispositivo mejorados capaces de permitir el tratamiento de cualquier tipo de materiales pulverulentos y polvos, incluso los más finos, a temperaturas que van hasta 1600°C a 2000°C sin los inconvenientes de los sistemas de calentamiento tradicionales evocados anteriormente.

45 Este objetivo se consigue según un primer aspecto de la invención gracias a un procedimiento de tratamiento térmico de productos pulverulentos, en particular polvos, caracterizado por que se calientan dichos productos, en particular hasta una temperatura de por lo menos 700°C, en un tubo de paso de corriente dispuesto de forma inclinada con respecto a un plano horizontal y, preferentemente, en sentido sustancialmente vertical con respecto a este plano, fluyendo dichos productos en dicho tubo esencialmente por gravedad, y en el que se calientan dichos productos en dicho tubo (5) por calentamiento de las paredes del tubo por efecto Joule, estando dicho tubo unido y alimentado directamente por un dispositivo de alimentación eléctrica (6) que permite calentar las paredes de dicho tubo por efecto Joule.

50 Por tanto, se comprende que el calentamiento de los productos se hace esencialmente por radiación y, dado el caso, por contacto con la pared en el supuesto de un tubo inclinado.

55 Por tanto, el procedimiento de la invención se basa en la utilización del tubo de paso de corriente estática que permite calentar las paredes del tubo por el paso de una corriente eléctrica adaptada, denominada también "impedance heating tube". La temperatura obtenida en el tubo depende de la cantidad de corriente que recorre el tubo y de la naturaleza de la aleación utilizada.

60 En el documento WO 94/23549 se describe un tubo de paso de corriente eléctrica utilizado para el calentamiento de un fluido.

5 Según el procedimiento de la invención, se calientan dichos productos en dicho tubo hasta una temperatura de como máximo 2000°C y, preferentemente, una temperatura comprendida entre 150°C y 1500°C, en particular entre 800°C y 1200°C. El tubo está colocado verticalmente o de forma inclinada y el polvo es vertido simplemente al caudal deseado. Por la acción de la gravedad, el producto sale de nuevo por la parte baja del tubo después de haber sido calentado mucho.

10 El procedimiento de tratamiento térmico según la invención es particularmente ventajoso con respecto a los procedimientos conocidos en el estado de la técnica. En efecto, permite alcanzar unas temperaturas de tratamiento de los polvos muy elevadas, lo cual permite reducir considerablemente los tiempos de tratamientos (de calentamiento) desde algunas decenas de minutos en los hornos giratorios o vibratorios hasta algunos segundos con el procedimiento de la invención.

15 Además, este nuevo procedimiento permite tratar cualquier clase de polvos y productos pulverulentos, superando los problemas habituales de pegado y de efecto pelicular encontrados con los polvos de granulometría muy pequeña, es decir, inferiores a 10 µm y esto con caudales de tratamiento y un rendimiento energético elevados, en un volumen ocupado reducido debido a la simplicidad del dispositivo de tratamiento a realizar.

20 La presente invención permite obtener un calentamiento mejor controlado y, dado el caso, más homogéneo entre las diferentes partes de la superficie del tubo y, por tanto, obtener unos productos calentados de forma más homogénea y uniforme en el interior del tubo y, en particular, más rápidamente con un rendimiento energético óptimo.

25 En particular, la presente invención permite evitar unos puntos de sobrecalentamiento del tubo, en particular en el caso de productos tratados termosensibles y/o muy finos, en particular de tamaño inferior a 200 µm, que podrían ser degradados localmente. Este calentamiento homogéneo de la superficie del tubo permite asimismo evitar problemas de resistencia mecánica del tubo, evitando los riesgos de fundición localizada.

30 Según el tipo de producto tratado y las características del tubo de paso de corriente utilizado para realizar el procedimiento, la potencia eléctrica de alimentación de dicho tubo está comprendida entre 10 kilovatios (kW) y 5 megavatios (MW).

35 De forma ventajosa, se puede regular asimismo la temperatura de dichos productos tratados en el interior de dicho tubo regulando la potencia eléctrica de alimentación de dicho tubo.

En un modo de realización, se calienta uniformemente el tubo sobre toda la longitud y sobre toda su periferia.

40 No obstante, en un modo de realización ventajoso, se calienta el extremo superior de la pared del tubo, preferentemente sobre una longitud inferior o igual a un tercio de la longitud total del tubo calentado, a una temperatura más elevada que el resto del tubo, es decir, la parte inferior restante del tubo, calentado uniformemente.

Así, el producto introducido por la parte alta del tubo es llevado más rápidamente a la temperatura buscada.

45 El dispositivo de introducción que comprende un tornillo de alimentación es ventajoso, ya que permite controlar de manera precisa el caudal de alimentación del producto, cualquiera que sea el caudal de gas aplicado.

50 Ventajosamente, se hace circular, en particular si el tubo está inclinado, un gas a cocrriente o a contracorriente de dichos productos tratados en dicho tubo en el curso del calentamiento de dichos productos.

55 De acuerdo con el procedimiento de la invención, el caudal de dichos productos tratados en el interior de dicho tubo de paso de corriente está comprendido entre 0,01 toneladas/hora y 10 toneladas/hora, en función de la naturaleza de los productos tratados y de la temperatura deseada de calentamiento de dichos productos, y el tiempo de estancia medio de los productos en el tubo está comprendido entre 0,5 segundos y 2 minutos.

60 Otro aspecto de la invención consiste en proporcionar un dispositivo para la realización del procedimiento de la invención, comprendiendo este dispositivo un tubo de paso de corriente dispuesto de forma inclinada con respecto a un plano horizontal y, preferentemente, en dirección sustancialmente vertical con respecto a este plano, permitiendo que un dispositivo de alimentación eléctrica de dicho tubo unido a dicho tubo caliente las paredes por efecto Joule, y un dispositivo de inyección de dichos materiales pulverulentos en dicho tubo dispuesto de forma que dichos productos introducidos en dicho tubo por dicho dispositivo de inyección fluyan en dicho tubo esencialmente por gravedad.

65 Un dispositivo de este tipo es particularmente ventajoso ya que presenta una ocupación en el suelo insignificante con respecto a los hornos rotativos utilizados en el estado de la técnica, así como un coste de inversión muy inferior, sin tener en cuenta una facilidad de utilización particularmente importante.

En un modo de realización, dicho tubo de paso de corriente está inclinado en un ángulo α comprendido entre 30° y 90° con respecto a dicho plano horizontal (P).

5 La aplicación de un tubo inclinado permite reducir la altura total del dispositivo, pero sobre todo alargar el tiempo de estancia de los productos en el tubo, ya que éstos están en contacto con la superficie interior de la pared del tubo y giran sobre éste, en lugar de caer directamente al vacío en el interior de un tubo vertical. Este modo de realización con tubo inclinado es apropiado para productos pulverulentos que presentan una reología que permite una fluidez suficiente del producto sobre la pared.

10 De acuerdo con otra característica de la invención, dichos productos son introducidos en dicho tubo por medio de un dispositivo de inyección que comprende una válvula alveolar o un tornillo de alimentación aguas abajo de una tolva de alimentación, y unos medios de inyección de gas en el extremo superior del tubo y/o entre la válvula o dicho tornillo de alimentación y dicho tubo.

15 Unas características preferidas de este dispositivo residen particularmente en el hecho de que:

- comprende unos medios de inyección de gas en el interior de dicho tubo con el fin de hacer circular un gas a cocorriente o a contracorriente de los productos inyectados en dicho tubo por dicho dispositivo de inyección.

- comprende unos medios de regulación de la potencia eléctrica suministrada por dicho dispositivo de alimentación a dicho tubo.

25 Además, preferentemente, dicho tubo de paso de corriente está unido a dicho dispositivo de alimentación eléctrica en una pluralidad de puntos de conexión distribuidos sobre toda la longitud de dicho tubo y de manera que toda la pared del tubo se caliente de forma sustancialmente uniforme.

30 En un modo de realización ventajoso, el dispositivo de alimentación eléctrica comprende un transformador de baja tensión, preferentemente a una tensión inferior a 100 V, preferentemente incluso 48 V, estando unido dicho tubo a dicho transformador por lo menos por dos cables de conexión.

35 Para una corriente monofásica o bifásica, se utilizan dos o tres cables de conexión. Para una corriente trifásica se utilizan cuatro cables de conexión correspondientes a las tres fases de la corriente eléctrica y al hilo de masa.

En general, los puntos de conexión están distribuidos uniformemente sobre la longitud del tubo a calentar, es decir, distribuidos sucesivamente a distancia igual unos de otros.

40 No obstante, ventajosamente todavía, la distancia entre los dos primeros puntos de conexión, en la parte superior del tubo, es más pequeña que la que hay entre los otros puntos de conexión distribuidos sustancialmente en equidistancia uno a continuación de otro sobre el resto de la longitud del tubo calentado, preferentemente una distancia entre dichos dos primeros puntos de conexión de una longitud de 10 a 30% más pequeña que la distancia de distribución uniforme de los otros puntos de conexión, y el espesor de dicho tubo entre los dichos dos primeros puntos de conexión es inferior al espesor del resto del tubo, preferentemente correspondiente a una reducción de espesor del 10 al 30% con respecto al del resto del tubo.

50 Esto permite calentar primero la parte superior del tubo, entre los dos primeros puntos de conexión y, por tanto, calentar más rápidamente el producto introducido en el tubo por la parte alta del mismo. La disminución del espesor del tubo permite conservar unas resistencias eléctricas idénticas entre los diferentes puntos de conexión para no desequilibrar las fases de la corriente de alimentación. El calentamiento a una temperatura más elevada de la parte superior del tubo proviene del hecho de que la misma potencia eléctrica es suministrada sobre una parte de tubo de longitud reducida con respecto a las otras partes de tubo entre los otros puntos de conexión sustancialmente equidistantes uno a continuación de otro.

55 De este modo, se obtiene un procedimiento y un sistema de calentamiento muy potentes (hasta varios megavatios de energía eléctrica inyectada) para un volumen ocupado muy pequeño y con una gran simplicidad de realización gracias a la ausencia de cualquier sistema mecánico y térmico. Se puede tratar cualquier tipo de producto pulverulento homogéneo y no obstructivo.

60 El tubo está constituido por un material conductor de electricidad. Según una característica preferida del dispositivo de la invención, dicho tubo de paso de corriente está constituido por un material metálico amagnético tal como una aleación no magnética de acero, preferentemente acero inoxidable austenítico, o aleaciones de níquel, cromo, hierro, aluminio, por ejemplo el inconel o el monel. Como variante, para lograr particularmente unas temperaturas muy altas, el tubo puede estar constituido por cerámicas conductoras, por ejemplo a base de carburo de silicio, o bien el tubo puede estar constituido por un material a base de carbono en forma cristalina conductora, tal como en forma de grafito.

Ventajosamente, para que el procedimiento de la invención pueda realizarse fácilmente, dicho tubo de paso de corriente presenta además una longitud comprendida entre 2 y 50 m, preferentemente 5 a 30 m, y un diámetro comprendido entre 20 y 220 mm, y un espesor de pared de 2 a 10 mm.

Otras características de la presente invención se desprenderán mejor de la lectura de la descripción detallada que sigue, hecha a título no limitativo con referencia a la figura única adjunta, que representa un dispositivo de calentamiento de productos pulverulentos que permite la realización del procedimiento de la invención en un modo preferido de realización.

Este dispositivo comprende un tubo de paso de corriente 5, preferentemente suspendido o sostenido por unos puntales para ser instalado con un ángulo α comprendido entre 30° y 90° (vertical) con respecto a un plano P horizontal correspondiente al suelo o, más generalmente, al plano de edificación del dispositivo. Cuando, como en el ejemplo representado, el tubo 5 está dispuesto totalmente vertical con respecto al plano P, esto facilita el flujo del producto tratado en el tubo hasta la salida 7 de éste y permite obtener muy buenos caudales de tratamiento, siendo la ventaja de una disposición más inclinada, hasta por ejemplo un ángulo de 30°, la reducción de la altura total del dispositivo.

El tubo de paso de corriente 5 está conectado eléctricamente por unas líneas 61 a un dispositivo de alimentación eléctrica 6 capaz de suministrar una tensión de alimentación comprendida entre 1 V y 500 V. En general, las líneas 61 están conectadas de forma regular sobre toda la longitud del tubo 5 con el fin de obtener una distribución homogénea de energía eléctrica en el tubo 5 y un calentamiento uniforme de las paredes de éste por efecto Joule, pudiendo la potencia eléctrica inyectada en el tubo por el dispositivo de alimentación 6 variar entre 10 kW y 5 MW en función de la longitud y de la resistividad del tubo 5.

Unos reguladores de potencia (no representados) permiten modular la cantidad de energía inyectada en el tubo 5, y regular la temperatura de calentamiento de éste, la cual puede llevarse hasta 1600°C a 2000°C según la naturaleza del tubo 5.

En un modo de realización, el dispositivo de alimentación eléctrica comprende un transformador de baja tensión alimentado por una corriente trifásica de 48 V. El transformador está unido al tubo por cuatro cables de conexión 61, correspondientes a las tres fases y a la masa. Para calentar primero la parte superior del tubo con el fin de calentar más rápidamente el producto, en la figura 1 se ha acortado la distancia entre los dos primeros puntos de conexión 61a y 61b, estando los otros puntos de conexión 61c y 61d distribuidos regularmente, es decir, que las distancias entre los puntos 61b-61c y 61c y 61d son idénticas pero más grandes que las que hay entre 61a-61b.

Para poder suministrar una misma potencia eléctrica sobre una parte de tubo reducida mientras se conserva la misma resistencia eléctrica con el fin de conservar el equilibrado entre las fases, es decir, para conservar la misma resistencia eléctrica entre los diferentes puntos de conexión sucesivos, se reduce el espesor de dicha parte superior entre los dos primeros puntos de conexión 61a y 61b, en una misma proporción que la reducción de la distancia.

La regulación de la temperatura del tubo se realiza por la modulación de la potencia eléctrica inyectada en las paredes del tubo. El transformador es pilotado por un graduador de potencia que utiliza unos tiristores que funcionan en modo trenes de ondas rápidas. Se puede modular así la potencia inyectada por impulsos marcha/parada cada 10 a 40 ciclos, por ejemplo. Un bucle de regulación compuesto por una sonda termopar y un regulador de tipo PID unidos a dicho graduador. La sonda termopar puede estar colocada en el flujo de producto o, más generalmente, sobre la pared del tubo. Este tipo de regulación permite regular precisamente, a +/- 1°C, la temperatura del tubo ya que la inercia térmica de la instalación es muy pequeña.

El tubo 5 está realizado preferentemente en una aleación metálica amagnética para evitar el efecto pelicular donde se concentra corriente sobre la superficie exterior del tubo, un fenómeno particularmente perturbador con las corrientes tan fuertes inyectadas en el tubo. De forma más simple, el tubo de paso de corriente 5 está constituido por acero inoxidable en un diámetro frecuentemente disponible. Este diámetro se elige prácticamente en función del producto tratado, del caudal deseado y del tiempo de estancia en el tubo.

El procedimiento y el dispositivo de tratamiento térmico de la invención permiten tratar, según los primeros ensayos realizados, cualquier tipo de producto pulverulento y polvos en caudales comprendidos entre 10 kg/h y 10 T/h, los diámetros de tubo 5 utilizados pueden variar entre 20 mm y 220 mm para longitudes de tubos comprendidas entre 10 m a 50 m y espesores de 2 a 6 mm.

A título de ejemplo, se puede emplear un tubo DN50 (\varnothing ext 60,3 x 2,9 mm de espesor) para el calentamiento de un polvo de óxido de zinc de masa volumétrica $\mu = 1200 \text{ kg/m}^3$ a un caudal de 1 T/h, o un tubo DN65 (\varnothing ext 76 x 2,9 mm de espesor) para el calentamiento de un polvo de óxido de níquel de masa volumétrica $\mu = 450 \text{ kg/m}^3$ a un caudal de 1,5 T/h.

ES 2 630 207 T3

5 En el extremo superior del tubo 5 está situada una tolva 2 de recepción del producto a tratar 1 y un dispositivo de inyección de dicho producto 1 en el tubo 5 que comprende una válvula alveolar 3 combinada en unos primeros medios de inyección de gas frío 4 entre dicha válvula 3 y la entrada del tubo 5. Este gas puede ser un gas reactivo, aire comprimido o un gas inerte y permite aislar térmicamente y proteger la válvula alveolar contra el calor liberado por la temperatura elevada del tubo 5 en funcionamiento.

En una variante de utilización, la válvula alveolar 3 es sustituida por un tornillo de alimentación.

10 De forma complementaria, es posible prever asimismo, como se representa en la figura, unos segundos medios de inyección y/o de aspiración de gas 8, 9 al nivel del extremo superior y/o, respectivamente, del extremo inferior del tubo 5 con el fin de inyectar y hacer circular un gas, que puede ser idéntico al gas de refrigeración, a contracorriente o, preferentemente, a cocrriente del producto tratado en el tubo.

15 Dicha circulación de gas a cocrriente o a contracorriente permite varias posibilidades tales como la evacuación de efluentes gaseosos, la inertización del dispositivo o la puesta en contacto con un gas reactivo.

Un ejemplo de tratamiento térmico susceptible de ser realizado de acuerdo con el procedimiento de la invención se refiere a la sinterización de óxidos metálicos tales como el óxido de níquel.

20 Este producto se presenta en forma de un polvo cuya densidad es del orden de 0,3 kg/l con un tamaño de partículas de aproximadamente 5 μm . La superficie específica medida de estos polvos es del orden de 20 m^2/g .

25 Ahora bien, su utilización en la industria, en particular para operaciones de revestimiento, necesita una reducción de la superficie específica de aproximadamente 5 m^2/g y una reducción de la masa volumétrica de aproximadamente 0,45 kg/l.

Para obtener este resultado, el polvo debe ser calentado a una temperatura superior a 800°C durante una corta duración de tiempo.

30 Este calentamiento se puede realizar de acuerdo con el procedimiento de la invención en un tubo de paso de corriente vertical 5 tal como se representa en la figura única adjunta, por ejemplo, constituido por Inconel con un diámetro de 60 mm para una longitud de 12 m.

35 El polvo de óxido de níquel es introducido en el tubo 5 dispuesto verticalmente a un caudal de 200 kg/h y es calentado a una temperatura del orden de 1000°C conseguida de forma muy rápida, es decir, con un tiempo de estancia de algunos segundos en el interior del tubo 5 y, en la práctica, inferior a 10 segundos.

40 Durante la circulación de los polvos en el tubo 5, una pequeña cocrriente de nitrógeno permite liberar los efluentes gaseosos liberados por el calentamiento de los polvos sin perturbar el funcionamiento global del dispositivo.

A la salida 7 del tubo de calentamiento se recuperan los polvos de óxido de níquel después del calentamiento con una superficie específica y una masa volumétrica satisfactorias para su utilización.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de tratamiento térmico de productos pulverulentos (1), en particular de polvos, caracterizado por que se calientan dichos productos por circulación de dichos productos en un tubo de paso de corriente (5) dispuesto de forma inclinada con respecto a un plano horizontal (P) y, preferentemente, de manera sustancialmente vertical con respecto a este plano, fluyendo dichos productos en dicho tubo esencialmente por gravedad, y en el que se calientan dichos productos en dicho tubo (5) por calentamiento de las paredes del tubo por efecto Joule, estando dicho tubo unido y alimentado directamente por un dispositivo de alimentación eléctrica (6) que permite calentar las paredes de dicho tubo por efecto Joule.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que se calientan dichos productos (1) en dicho tubo (5) hasta una temperatura de como máximo 2000°C y, preferentemente, una temperatura comprendida entre 150 y 1500°C.
- 15 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, en el que dicho tubo de paso de corriente (5) está inclinado en un ángulo α comprendido entre 30° y 90° con respecto a dicho plano horizontal (P).
- 20 4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la potencia eléctrica de alimentación de dicho tubo (5) está comprendida entre 10 kilovatios y 5 megavatios.
- 25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 3 o 4, en el que se regula la temperatura de dichos productos tratados en el interior de dicho tubo por regulación de la potencia eléctrica de alimentación de dicho tubo.
- 30 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que se calienta el extremo superior de la pared del tubo a una temperatura más elevada que el resto del tubo calentado uniformemente.
- 35 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que se hace circular un gas a cocrriente o a contracorriente de dichos productos tratados en dicho tubo (5) en el curso del calentamiento de dichos productos.
- 40 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que dichos productos pulverulentos presentan una granulometría media inferior a 200 μm .
- 45 9. Dispositivo para la realización del procedimiento de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende un tubo de paso de corriente (5) dispuesto de forma inclinada con respecto a un plano horizontal (P) y, preferentemente, de manera sustancialmente vertical con respecto a este plano, un dispositivo de alimentación eléctrica (6) unido a dicho tubo, que permite calentar sus paredes por efecto Joule, y un dispositivo de inyección de dichos materiales pulverulentos en dicho tubo dispuesto de manera que dichos productos introducidos en dicho tubo por dicho dispositivo de inyección fluyan en dicho tubo esencialmente por gravedad.
- 50 10. Dispositivo según la reivindicación 9, en el que dicho tubo de paso de corriente (5) está inclinado en un ángulo α comprendido entre 30° y 90° con respecto a dicho plano horizontal (P).
- 55 11. Dispositivo según la reivindicación 9 o 10, en el que dicho tubo de paso de corriente (5) está unido a dicho dispositivo de alimentación eléctrica (6) en una pluralidad de puntos de conexión distribuidos sobre toda la longitud de dicho tubo y de manera que caliente de manera sustancialmente uniforme toda la pared del tubo.
- 60 12. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizado por que el dispositivo de alimentación eléctrica comprende un transformador de baja tensión, preferentemente a una tensión inferior a 100 V, preferentemente incluso 48 V, estando dicho tubo unido a dicho transformador por lo menos por dos cables de conexión (61).
- 65 13. Dispositivo según la reivindicación 12, caracterizado por que el tubo es alimentado con corriente eléctrica trifásica, estando dicho tubo unido a dicho transformador por cuatro cables de conexión (61).
14. Dispositivo según una de las reivindicaciones 12 o 13, caracterizado por que la distancia entre los dos primeros puntos (61a, 61b) de conexión, en la parte superior del tubo, es más pequeña que la que hay entre los otros puntos de conexión (61c, 61d) distribuidos sustancialmente equidistantes unos a continuación de los otros por el resto de la longitud del tubo calentado, preferentemente una distancia entre dichos dos primeros puntos de conexión de una longitud de 10 a 30% más pequeña que la distancia entre los otros puntos de conexión sucesivos equidistantes, y el espesor de dicho tubo entre dichos dos primeros puntos de conexión es inferior al espesor del resto del tubo, preferentemente correspondiente a una reducción de espesor de 10 a 30% con respecto al del resto del tubo.
15. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 14, en el que dicho dispositivo de inyección comprende una válvula alveolar (3) o un tornillo de alimentación aguas abajo de una tolva de alimentación (2) y unos medios (8,

4) de inyección de gas en el extremo superior del tubo y/o entre dicha válvula o dicho tornillo de alimentación y dicho tubo.

5 16. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 15, que comprende además unos medios de inyección de gas en el interior de dicho tubo con el fin de hacer circular dicho gas a cocrriente o a contracorriente de los productos inyectados en dicho tubo por dicho dispositivo de inyección.

10 17. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 16, caracterizado por que el material constitutivo de dicho tubo es una aleación no magnética de acero, carburo de silicio o carbono en forma de grafito.

18. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 17, en el que dicho tubo de paso de corriente presenta una longitud comprendida entre 2 y 50 m, preferentemente 5 a 30 m.

15 19. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 18, en el que dicho tubo de paso de corriente presenta un diámetro comprendido entre 20 y 220 mm y un espesor de pared de 2 a 10 mm.

