

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 197**

51 Int. Cl.:

F26B 3/12 (2006.01)

B05B 1/30 (2006.01)

B05B 1/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.12.2015 PCT/EP2015/081224**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.07.2016 WO16107817**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2015 E 15817870 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 3240984**

54 Título: **Atomizador para aplicaciones de secado por pulverización**

30 Prioridad:

31.12.2014 EP 14200754

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

04.12.2019

73 Titular/es:

**SOCIÉTÉ DES PRODUITS NESTLÉ S.A. (100.0%)
Entre-deux-Villes
1800 Vevey, CH**

72 Inventor/es:

**ERDMANN, PETER;
FANKHAUSER, PETER;
NYDEGGER, MARTIN;
SANDERS, DALE RICHARD;
STRANZINGER, MICHAEL;
WALTHERT, GERHARD y
SCHMIED, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 734 197 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

Atomizador para aplicaciones de secado por pulverización

5 La presente invención se refiere a un aparato atomizador monofásico para aplicaciones de secado por pulverización que lleva una boquilla, provista de al menos un orificio de salida para proyectar gotitas pulverizadas de un producto que debe secarse y de al menos un orificio de entrada para transferir dicho producto a una cámara de la boquilla, y un aparato para en línea ajustar el tamaño de las gotitas producidas durante el proceso de secado por pulverización. La presente invención se refiere igualmente a un aparato de secado por pulverización provisto de este tipo de boquilla atomizadora y a un proceso de secado por pulverización en el cual se usa una boquilla atomizadora de este tipo.

10 Los productos alimenticios en polvo se elaboran en gran medida mediante secado por pulverización. Este proceso convierte en polvo emulsiones, suspensiones y dispersiones. Las boquillas atomizadoras proyectan gotitas que se secan en aire caliente por evaporación del agua. La calidad final del producto en polvo, su textura, el diseño del proceso del secado, su eficiencia, el tipo de ensuciamiento de las paredes y la seguridad operativa, por citar solo algunas características, están relacionadas directamente con la calidad de la proyección y por lo tanto con el proceso de atomización.

15 Se pueden usar diversas boquillas. Las boquillas monofásicas son ventajosas porque no requieren la adición de líquido o gas para favorecer la atomización del producto que debe secarse por pulverización. Sin embargo la atomización de productos de viscosidad elevada es más difícil con las boquillas monofásicas.

20 En los procesos conocidos de secado por pulverización se usan boquillas atomizadoras de forma geométrica fija que no pueden ajustarse de acuerdo con el proceso y las condiciones del producto durante el arranque, el funcionamiento y el paro. Como alternativa los operarios varían las geometrías de las boquillas antes del ciclo de producción, sin tener la posibilidad de cubrir todas las contingencias del proceso. Dichas boquillas se eligen de acuerdo con tablas de agua. La elaboración de productos alimenticios en polvo tiene lugar a viscosidades notablemente más altas en comparación con el agua. Por otra parte es conveniente realizar el proceso de secado por pulverización con el mayor contenido posible de sólidos totales, para reducir el coste y el consumo de energía del proceso. El incremento de sólidos totales aumenta a su vez la viscosidad del producto que debe secarse por pulverización. Las viscosidades típicas de los aerosoles de productos alimenticios concentrados con alto contenido de sólidos totales están dentro de un intervalo comprendido entre 1 y 1000 mPa·s. No se conoce ningún aparato de boquilla monofásica capaz de abarcar un intervalo tan amplio, sobre todo las viscosidades más altas.

25 Como ejemplo, en el caso de las emulsiones lácteas concentradas con un contenido total de sólidos superior al 50%, la viscosidad del concentrado sube exponencialmente al aumentar los sólidos totales. Este hecho es un problema para el secado por pulverización, si la viscosidad del concentrado rebasa el límite de diseño de las boquillas atomizadoras monofásicas. El límite de diseño es descrito como la rotura del núcleo de aire del atomizador que detiene la creación de gotitas y, por lo tanto, el secado eficiente por pulverización y la aglomeración del polvo con la textura requerida. El uso del aparato de boquilla atomizadora del estado técnico anterior no permite determinar visualmente las roturas del núcleo de aire en el interior de las boquillas del atomizador; por lo tanto no hay actualmente ninguna forma de hacer funcionar el proceso de secado por pulverización en su punto óptimo sin encontrarse con problemas tales como obstrucciones de polvo en conos y ciclones, ensuciamiento de las paredes o formación de barbas en el atomizador, por citar solo algunos problemas.

30 En las patentes US 3981957 A, WO 9748496 A1 y US 2010132439 A1 se describen diferentes boquillas atomizadoras.

35 De la patente WO 2007/071235 A1 se conoce una estructura de boquilla y un método para montarla en la pared de un aparato de secado por pulverización.

40 Esta conocida estructura de boquilla consiste en una lanza prolongada longitudinalmente a través de la cual el material que debe secarse se puede dirigir hacia el orificio de la boquilla, desde donde es proyectado en forma de gotitas por una corriente de un gas secador adecuado.

45 En un extremo longitudinal de dicha estructura de boquilla hay dos discos que pueden girar relativamente entre sí. Ambos discos tienen una sección transversal interna de forma cónica, de manera que la distancia entre ellos aumenta o disminuye al girar uno respecto al otro.

50 Como el disco delantero de los dos citados está en contacto con el tubo de la boquilla que a su vez lleva la lanza, la distancia entre el extremo de la lanza de la boquilla y el orificio de la boquilla es variable. Antes de iniciar el proceso de producción con esta conocida estructura de boquilla, los dos discos se giran uno respecto al otro para ajustar la distancia mencionada anteriormente.

55 Por lo tanto esta conocida estructura de boquilla es similar a la descrita anteriormente, en el sentido de que hay que ajustarla antes de iniciar el proceso de producción y no se puede reajustar sin interrumpirlo.

Como las condiciones del producto y del proceso cambian desde el inicio hasta el final del proceso, varía la calidad del producto resultante y puede acumularse producto en la propia boquilla y en las paredes de la cámara de secado.

Por consiguiente se necesita un aparato de boquilla atomizadora que contribuya a evitar estos inconvenientes.

5 En un primer aspecto de la presente invención se proporciona un aparato de boquilla atomizadora monofásica para un dispositivo de pulverización que lleva una boquilla provista de al menos un orificio de salida para proyectar gotitas de un producto que debe secarse y de al menos un orificio de entrada para transferir dicho producto a una cámara de la boquilla, el cual se caracteriza por un sistema que sirve para ajustar en línea el tamaño de las gotitas proyectadas durante el proceso de secado por pulverización y porque el aparato dispone de un émbolo para ajustar el volumen de dicha cámara de boquilla en función de los parámetros del proceso de secado por pulverización y de los parámetros del producto obtenidos en línea durante el proceso de secado por pulverización, y también porque las paredes de la cámara de la boquilla no tienen una superficie que produzca turbulencias y porque el producto que debe secarse tiene una viscosidad comprendida entre 1 y 1000 mPa·s, preferiblemente entre 20 y 1000 mPa·s.

15 Esto significa que el aparato de boquilla atomizadora según la presente invención dispone de un medio en línea para controlar los tamaños de las gotitas proyectadas durante el secado por pulverización. La calidad de la pulverización se puede juzgar por la distribución del tamaño de las gotitas y el diámetro medio correspondiente a dicho tamaño, es decir, por el diámetro Sauter D_{32} .

20 La boquilla atomizadora de la presente invención ayuda a lograr los siguientes objetivos principales de la producción: un diámetro Sauter mínimo para tener una evaporación de agua más rápida y equilibrada, una aglomeración óptima y una distribución equilibrada del tamaño de las partículas de polvo para que la calidad sea constante, la eliminación de partículas quemadas para obtener una calidad uniforme del polvo, un mínimo ensuciamiento de las paredes con polvo, un mínimo ensuciamiento de la boquilla atomizadora y una mayor seguridad del secador gracias a la eliminación del goteo y las partículas quemadas, así como un margen de funcionamiento para que las boquillas atomizadoras puedan proyectar el producto dentro de los límites de diseño sin llegar a la llamada rotura del núcleo de aire.

30 Según la presente invención, el aparato incluye medios para ajustar la forma geométrica de la cámara de la boquilla basándose en parámetros del proceso de secado por pulverización tales como el caudal másico atomizado, la presión de atomización y en parámetros del producto tales como su densidad y viscosidad dinámica, parámetros que se obtienen o evalúan en línea durante el proceso de secado por pulverización.

35 Por tanto la forma geométrica de la boquilla se puede ajustar en línea basándose en los parámetros responsables del rendimiento del proceso y en la calidad alcanzada del producto. Además, los tiempos de inactividad de un dispositivo de secado por pulverización equipado con un aparato de boquilla atomizadora según la presente invención se pueden reducir, ya que los tiempos de limpieza disminuyen notablemente gracias al menor ensuciamiento del equipo.

40 Además es conveniente que las paredes de la cámara de la boquilla no tengan superficies generadoras de turbulencia, porque perturbarían la formación de película líquida dentro de la cámara de la boquilla y por tanto alterarían el control del tamaño de las gotitas.

45 El aparato de boquilla según la presente invención está provisto de un accionamiento eléctrico para ajustar la forma geométrica de la cámara, que es controlado por un dispositivo de control basándose en los parámetros del proceso de secado por pulverización y en los parámetros del producto antes mencionados. Para modificar la forma geométrica de la cámara según la presente invención, el aparato dispone de un émbolo que regula el volumen de la cámara de turbulencia de la boquilla.

50 Moviendo el émbolo hacia dentro y fuera de la cámara de la boquilla mediante el accionamiento eléctrico se ajusta la altura de la cámara de turbulencia de la boquilla. Por tanto, al mover el émbolo se puede modificar en línea la forma geométrica de la cámara de la boquilla durante el proceso de producción, en relación con los parámetros del producto y del proceso mencionados anteriormente.

55 El movimiento del émbolo se puede conseguir mediante el accionamiento eléctrico, que a su vez es regulado por un sistema de control como un circuito programable. Este circuito transmite señales de control al accionamiento eléctrico en función de los parámetros mencionados anteriormente.

60 Para ello, según una forma de ejecución ventajosa de la presente invención, el accionamiento eléctrico consta de un motor eléctrico que hace girar un eje de salida transformando la rotación en un movimiento longitudinal del émbolo por medio de un acoplamiento roscado entre el eje de salida y el émbolo. De este modo se consigue una configuración mecánica estable y fácil de manejar.

65 En una forma de ejecución ventajosa de la presente se facilita un manguito de conexión fijado de forma desmontable al accionamiento eléctrico y provisto de un taladro longitudinal para alojar un eje hueco que puede girar transfiriendo el movimiento rotatorio de un eje de salida del accionamiento eléctrico a una clavija de ajuste que mueve axialmente el émbolo dentro y fuera de la cámara de la boquilla.

La clavija de ajuste va provista de un taladro longitudinal con una rosca interior engranada con una rosca exterior del émbolo, de modo que un movimiento giratorio de la clavija de ajuste se transforma en un movimiento longitudinal del émbolo axialmente móvil.

5 En una forma de ejecución ventajosa de la presente invención, la cámara de la boquilla está equipada con un cuerpo de cámara de turbulencia insertado en una cámara interior de un cuerpo de la tobera que se fija de forma desmontable al manguito de conexión mencionado anteriormente y el cuerpo de la cámara de turbulencia está provisto de un canal de apertura que se corresponde con el orificio para introducir el material en la cámara de turbulencia del cuerpo de la misma. Este material puede ser, por ejemplo, una pasta para la producción de productos lácteos y nutricionales.

10 Según la presente invención, la cámara de turbulencia tiene una cara con una guía helicoidal que se estrecha para acelerar la pasta hacia el orificio de la boquilla y proyectar las gotitas del material a gran velocidad. Como el material es incompresible, el ángulo del cono de pulverización y el diámetro de las gotitas se pueden modificar mediante el movimiento regulable del émbolo dentro de la cámara de turbulencia, de acuerdo con los parámetros del producto y del proceso en línea durante el proceso de elaboración del producto que quiere obtener.

15 Según una forma de ejecución ventajosa de la presente invención, el orificio para introducir el material en la cámara de la boquilla se extiende radialmente respecto al eje longitudinal de la boquilla y el material del producto se transfiere a la boquilla a través de un tubo conectado al orificio.

20 Para permitir una modificación básica de las características de salida de la boquilla atomizadora su cuerpo va provisto de una placa perforada desmontable, de manera que el diámetro de apertura del orificio de la boquilla se puede variar reemplazando la placa perforada por otra de diámetro diferente.

25 Según una característica preferida, el ángulo del cono de la neblina de pulverización formada por las gotitas del producto y el tamaño de las gotitas se pueden modificar moviendo axialmente el émbolo respecto a la cámara de la boquilla.

30 La boquilla atomizadora de la presente invención permite controlar el proceso automáticamente, de manera que la atomización de los secadores de pulverización funcione dentro de los límites de diseño. Por lo tanto el rendimiento del proceso es mejor y más consistente, con menos trabajo de reelaboración y una calidad más constante del producto en polvo. Se ha comprobado que con la boquilla atomizadora de la presente invención, que proporciona una regulación activa de la atomización, preferiblemente mediante un software controlador del automatismo, se logra el punto óptimo de funcionamiento de los secadores por pulverización.

35 En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un aparato de secado por pulverización que consta de una boquilla atomizadora según la presente invención, como la descrita aquí, y además de un dispositivo de medición en línea de la caída de presión diferencial, para la determinación continua de la viscosidad dinámica (η) de un producto en pasta cuya viscosidad está comprendida en el intervalo de 1 a 1000 mPa·s, instalado en una derivación de la línea de procesamiento, antes de la boquilla atomizadora.

40 En una forma de ejecución ventajosa la derivación comprende una bomba, un medidor de flujo, un tubo de presión diferencial y opcionalmente un amortiguador de pulsaciones. Según otra forma de ejecución preferida, en la derivación el índice de cizallamiento es superior a 1000 s^{-1} y el número de Reynolds es inferior a 2300.

45 El índice de cizallamiento se usa como parámetro de entrada para controlar la boquilla atomizadora. Permite controlar en línea de la boquilla atomizadora. Por tanto permite regular en línea el tamaño de las gotitas pulverizadas según un criterio de estabilidad compuesto por el caudal másico de atomización Q_m , la presión de pulverización P , la densidad del producto (ρ) y su viscosidad (η).

50 Además, el control de la boquilla atomizadora mediante la determinación en línea de la viscosidad dinámica permite obtener una aglomeración uniforme de las partículas de polvo del producto durante un ciclo de producción, con independencia de la cantidad total de partículas sólidas (TS) o de las fluctuaciones del caudal másico. Con este método se puede automatizar el proceso, gracias a la reproducibilidad y a la fiabilidad mejoradas y simplificadas de las propiedades del producto para diversos tipos de secadores por pulverización. Se logra un control de producción eficaz mediante el diseño anticipado de propiedades del producto en polvo final tales como la humedad del polvo, la densidad aparente, el tamaño final del aglomerado y su estabilidad. La automatización también mejora la economía de producción y la eficiencia del proceso (funcionamiento óptimo).

55 El aparato medidor de la caída de presión diferencial en línea permite registrar en continuo las viscosidades dinámicas del producto, p.ej. de café y productos lácteos, antes de la atomización con sus características concretas de producto, tales como altamente viscoso (por ejemplo más de 1, preferiblemente más de 20, con mayor preferencia más de 100 mPa·s) y comportamiento de flujo pseudoplástico (determinación de la viscosidad de la 2ª meseta newtoniana (η)). La información en línea de la viscosidad dinámica es necesaria para el funcionamiento de un evaporador o una boquilla atomizadora controlable en línea, a fin de determinar la configuración del punto óptimo del evaporador o atomizador y

advertir en caso de llegar al límite de diseño. El aparato medidor de la presión diferencial en línea permite calibrar la viscosidad dinámica de los fluidos newtonianos y en particular de los fluidos no newtonianos pseudoplásticos, basada en reómetros de laboratorio.

5 Otras técnicas para medir la viscosidad dinámica en línea se basan en subestimar o sobrestimar las viscosidades dinámicas predefinidas de los productos lácteos y nutricionales (mediante reómetro de laboratorio). Para los fluidos pseudoplásticos en particular, la técnica de medición basada en la frecuencia, el método de medición basado en las fuerzas de Coriolis y el método de viscosimetría de cuarzo no ofrecen la posibilidad de determinar la viscosidad de la 2ª meseta newtoniana de los fluidos pseudoplásticos, debido a la falta de información sobre el campo de flujo aplicado en el método (y por tanto de los índices de cizallamiento).

Así, la denominada viscosidad de la segunda meseta newtoniana de los fluidos alimentarios no newtonianos se puede registrar en línea con el aparato medidor de la caída de presión diferencial y por tanto se puede calibrar con reogramas de viscosidad dinámica predefinida del producto, que se encuentran en las mediciones con reómetros de laboratorio.

15 A partir de aquí la presente invención se describe con más detalle mediante una forma de ejecución de la misma y las figuras adjuntas.

20 La figura 1 muestra una vista parcial de un corte lateral de un aparato de boquilla atomizadora según una forma de ejecución de la presente invención.

La figura 2 muestra una vista de un corte transversal de un eje hueco del aparato de boquilla atomizadora de la figura 1.

La figura 3 muestra una vista parcial de un corte de una clavija de ajuste;

25 La figura 4 muestra una vista frontal del cuerpo de la cámara de turbulencia del aparato de boquilla atomizadora de la figura 1; y

Las figs. 5 y 5A representan una vista lateral y una vista frontal (en la dirección de la flecha A) del émbolo del aparato de boquilla atomizadora de la fig. 1.

30 La figura 6 es un diagrama de flujo de un proceso para regular el tamaño de las gotitas proyectadas por un aparato de boquilla atomizadora de la presente invención.

La figura 7 es un diagrama de flujo de un método de caída de presión diferencial que puede aplicarse con el aparato medidor de caída de presión diferencial empleado en una forma de ejecución preferida de la presente invención.

La figura 8 muestra el principio de un aparato medidor de caída de presión diferencial tal como se usa en una forma de ejecución preferida de la presente invención.

35 El aparato de boquilla atomizadora 1 según la fig. 1 posee un accionamiento eléctrico 2 provisto de una interfaz (por ejemplo una interfaz Profibus o Ethernet/IP) y una fuente de alimentación (por ejemplo una fuente de alimentación de 24 V de CC) a 3 y un motor eléctrico 4 con una transmisión conectada a 3.

40 El motor eléctrico 4 hace girar un eje de salida 5 que se prolonga a través de un taladro interior longitudinal 6 de un eje hueco 7 representado con mayor detalle en la fig. 2.

El eje hueco 7 está alojado de forma giratoria en un taladro interior longitudinal 8 de un manguito de conexión 9 que puede fijarse mediante pernos 10 a la carcasa de la transmisión 4.

45 El taladro interior 6 del eje hueco 7 tiene una rosca interna 11 que se puede acoplar a una rosca externa 12 provista en una pieza al extremo de una clavija de ajuste 13, representada con más detalle en la fig. 3, que puede insertarse en el taladro interior 6 del eje hueco 7.

50 En el extremo opuesto al terminal roscado 12 de la clavija de ajuste 13 hay una sección receptora de dicha clavija que está formada por un taladro interior 14 provisto de una rosca interior 15.

La rosca interna 15 de la clavija de ajuste 13 sirve para acoplarla a una rosca externa 16 de un émbolo 17 mostrado más claramente en las figs. 5 y 5A.

55 Como puede verse en las figs. 5 y 5A, el émbolo 17 tiene una superficie exterior circunferencial 18 con una sección transversal de forma helicoidal correspondiente en forma y tamaño a una sección receptora 19 de un cuerpo de cámara de turbulencia 20 alojado en un cuerpo de boquilla 23 que está montado en el manguito de conexión 9, tal como se ve en la fig. 4.

60 El cuerpo de la cámara de turbulencia 20 tiene un canal de entrada lateral o tangencial 21 para introducir el material en forma de pasta o similar en la cámara de turbulencia 22 del cuerpo de cámara de turbulencia 20.

65 El material que debe transportarse a través del canal de entrada 21 hacia la cámara de turbulencia 22 puede entrar en el cuerpo de la boquilla 23 a través de un primer orificio 24 o de un orificio de entrada que se extiende radialmente respecto al eje longitudinal común 28 del cuerpo de la boquilla 23 y del manguito de conexión 9. A tal fin hay un tubo 25 conectado al primer orificio 24 del cuerpo de la boquilla 23 que constituye una abertura de entrada del aparato 1.

La pasta o el material pastoso introducido en el cuerpo de la boquilla 23 a través del tubo 25 entra en el cuerpo de la boquilla 23 por el primer orificio 24 y en la cámara de turbulencia 22 por el canal de entrada 21.

5 La cámara de turbulencia 22 tiene un orificio que se extiende axialmente a través de un orificio que tiene una superficie exterior circunferencial con una sección transversal de forma helicoidal, formando así una cara guía de tipo espiral que sirve para acelerar el material hacia un segundo orificio 26, o un orificio del cuerpo de boquilla 23, que constituye una abertura de salida del aparato 1. Hay una placa perforada 27 situada entre la salida axial de la cámara de turbulencia 22 y el segundo orificio 26, de modo que con la placa perforada 27 se puede ajustar el ángulo de apertura del cono de proyección.

15 La fig. 1 muestra el émbolo 17 cerrando el primer orificio 24. El accionamiento del motor 3 hace girar el eje hueco 7 y, por lo tanto, también la clavija de ajuste 13 alrededor de su eje longitudinal. El émbolo 17 está conectado a la rosca interior 15 de la clavija de ajuste 13 mediante la rosca exterior 16 y solo puede realizar un movimiento relativo respecto al cuerpo de la cámara de turbulencia 20 a lo largo del eje longitudinal del émbolo 17, pero no puede girar respecto al cuerpo de la cámara de turbulencia 20. Así, un giro de la clavija de ajuste 13 se convierte en un movimiento axial del émbolo 17 respecto al cuerpo de la cámara de turbulencia 20.

20 Con este movimiento del émbolo 17 se puede modificar la anchura axial del primer orificio 24 y la forma geométrica de la cámara de turbulencia 22 y por lo tanto de la cámara de la boquilla. Como el accionamiento eléctrico 2 se controla mediante los parámetros del proceso y del producto, que a su vez se obtienen o evalúan en línea durante el proceso de elaboración del producto en polvo que debe obtenerse, el control tiene lugar en línea con dicho. A tal fin el circuito de control proporciona señales al accionamiento eléctrico 2 para que el émbolo 17 se mueva axialmente en la dirección del eje longitudinal 28, como se muestra en la fig. 1. Con este movimiento del émbolo 17, el tamaño de las gotitas del material atomizado se puede ajustar al mínimo diámetro Sauter posible para un determinado conjunto de parámetros de entrada.

25 La medición en línea de estos parámetros de entrada del proceso de elaboración del producto en polvo permite ajustar el tamaño de las gotitas al mínimo diámetro Sauter posible en línea y, por lo tanto, tener en cuenta el rango completo de viscosidades de atomización durante el proceso de elaboración del producto en polvo.

30 Según la presente invención, los parámetros de entrada que se miden en línea con el proceso de producción son los siguientes: caudal del producto en los tubos del aparato de pulverización hacia la boquilla, presión del producto en los tubos hacia la boquilla, viscosidad del producto medida en los tubos hacia la boquilla y/o por último la densidad del producto, que también se mide en los tubos del aparato que conducen a la boquilla.

35 El producto en pasta que penetra en la cámara de turbulencia a través del canal de entrada 21 sigue una trayectoria helicoidal gracias al diseño en espiral de la sección transversal de la cámara de turbulencia, según una dirección combinada circunferencial y axial hacia el orificio de la boquilla 26. Este diseño acelera la velocidad de desplazamiento del producto en pasta en la cámara de turbulencia, siempre que el caudal másico de la pasta sea constante. La pasta de producto sale de la boquilla atomizadora a través de la placa perforada 27 y del orificio de la boquilla 26 en forma de una película de forma cónica 29 con un ángulo α en la punta del cono, de tal modo que la película 29 se atomiza en gotitas formando una neblina de proyección. El ángulo α de la punta del cono es directamente proporcional a la velocidad de desplazamiento del producto en pasta en el orificio 26 de la boquilla, es decir, cuanto mayor sea la velocidad de desplazamiento, mayor será el ángulo de la punta del cono y menor el tamaño de las gotitas.

40 Un ángulo α de 0° en la punta del cono no produce ninguna atomización y, según un ejemplo concreto, un ángulo α de 100° en la punta del cono genera gotitas con un diámetro Sauter $D_{32} = 30 \mu\text{m}$. Cuanto más amplio es el ángulo α de la punta del cono, más pequeñas resultan las gotitas, de manera que el tamaño de las gotitas se puede controlar mediante el ángulo α de la punta del cono y por tanto mediante la velocidad de desplazamiento del producto en pasta en el orificio de la boquilla 26.

45 La fig. 6 es un diagrama de flujo de un proceso de control del tamaño de las gotitas proyectadas por un aparato de boquilla atomizadora de aglomeración según la presente invención, cuando la línea de procesamiento está provista de un aparato medidor de la caída de presión diferencial en línea. El producto en pasta indicado en la fig. 6 como "concentrado" se dirige a un punto de dosificación 30 que conduce una parte del flujo del producto en pasta por una línea de derivación 32. La mayor parte del flujo del producto en pasta pasa por una línea principal 34 de producto en pasta. La línea de derivación 32 confluye con la línea principal de producto en pasta 34 en un punto de unión 36 que se halla más abajo de un aparato medidor de la caída de presión diferencial 38 montado en la línea de derivación 32.

50 Más abajo del punto de unión 36 hay un medidor de caudal másico 40, un medidor de densidad 42 y una sonda de la presión de proyección 44 en la línea principal del producto en pasta. Tras la sonda de presión de proyección 44, la línea principal 34 de producto en pasta entra en un aparato de boquilla atomizadora 1 a través del tubo 25. El producto en pasta suministrado a la boquilla atomizadora 1 se pulveriza luego en una cámara de secado por pulverización 46.

55 El aparato medidor 38 de la caída de presión diferencial determina el índice de cizallamiento y la viscosidad dinámica

5 η del producto en pasta suministrado a la boquilla atomizadora según la presente invención. Los datos del índice de cizallamiento y de la viscosidad dinámica η se envían desde el aparato medidor de la caída de presión diferencial 38 a un dispositivo de control (control SPS) 48. Del mismo modo, el caudal másico Q_m del producto en pasta determinado por el medidor de flujo másico 40, la densidad del producto en pasta ρ determinada por el medidor de densidad 42 y la presión de proyección P del producto en pasta determinada por la sonda de presión de proyección 44 también se envían al dispositivo de control 48. El índice de cizallamiento debe ser superior a 1000 s^{-1} .

10 El dispositivo de control 48 incluye un ordenador que calcula un parámetro de control de salida basándose en los datos anteriores enviados al dispositivo de control 48 y en los parámetros geométricos conocidos de la boquilla atomizadora almacenados en una memoria del dispositivo de control 48. El parámetro de control de salida se envía al aparato de boquilla atomizadora 1 para ajustar el pistón 17 (émbolo) de la cámara de turbulencia a una posición calculada con el fin de obtener el volumen deseado de la cámara de turbulencia.

15 Las siguientes ecuaciones 1-7 describen el procedimiento de resolver la manera de controlar la posición del émbolo (indicada por la h_{sc}), basándose en la variación de la viscosidad dinámica η del producto en pasta.

Por consiguiente, este procedimiento de resolución se aplica cuando hay una variación del caudal másico Q_m y de la densidad ρ del producto en pasta.

20 Caracterización universal del caudal másico de los flujos de la boquilla de turbulencia bajo presión:

$$\frac{Q_m}{\eta d_{sc}} = 2.1844 \left(\frac{d_{or}}{d_{sc}} \right)^{1.2859} \left(\frac{h_{sc}}{d_{sc}} \right)^{0.4611} \left(\frac{\sqrt{P\rho d_{sc}}}{\eta} \right)^{0.9140} \quad (1)$$

25 La relación entre la presión de atomización P y la posición axial del émbolo (indicada por la h_{sc}) proviene por ejemplo de una variación de la viscosidad dinámica η_{vieja} a η_{nueva} :

$$\frac{\eta_{nueva}}{\eta_{vieja}} = \left(\frac{h_{sc, vieja}}{h_{sc, nueva}} \right)^{0.4611} \left(\frac{\eta_{nueva}}{\eta_{vieja}} \right)^{0.9140} \left(\frac{P_{vieja}}{P_{nueva}} \right)^{\frac{0.9140}{2}} \quad (2)$$

30 Resuelta para la relación de presión de atomización:

$$\frac{P_{vieja}}{P_{nueva}} = \left(\frac{\eta_{nueva}}{\eta_{vieja}} \right)^{\frac{1-0.9140}{0.4570}} \left(\frac{h_{sc, vieja}}{h_{sc, nueva}} \right)^{\frac{-0.4611}{0.4570}} \quad (3)$$

35 Para encontrar una relación directa entre la posición del émbolo h_{sc} y la viscosidad dinámica η , la relación de presión de atomización se debe hallar en otra ecuación, véanse las siguientes ecuaciones 4-6: caracterización universal del tamaño de las gotitas proyectadas por los boquillas atomizadoras de turbulencia bajo presión:

$$\frac{D_{32,global}}{d_{sc}} = 1.0798 \text{Re}^{-0.2987} \text{We}^{-0.1709} \left(\frac{h_{sc}}{d_{sc}} \right)^{-0.0772} \left(\frac{d_{or}}{d_{sc}} \right)^{0.9534} \quad (4)$$

40 Nuevamente, se puede conseguir la relación de presiones de atomización con las condiciones de consistencia de que $D_{32,global-viejo}$ y $D_{32,global-nuevo}$ permanezcan constantes:

$$\begin{aligned} \frac{D_{32, global, viejo}}{D_{32, global, nuevo}} &= 1 = \left(\frac{\text{Re}_{viejo}}{\text{Re}_{nuevo}} \right)^{-0.2987} \left(\frac{\text{We}_{viejo}}{\text{We}_{nuevo}} \right)^{-0.1709} \left(\frac{h_{sc, vieja}}{h_{sc, nueva}} \right)^{-0.0772} \\ &= \left(\frac{h_{sc, vieja}}{h_{sc, nueva}} \right)^{-0.2987} \left(\frac{\eta_{vieja}}{\eta_{nueva}} \right)^{0.2987} \left(\frac{h_{sc, vieja}}{h_{sc, nueva}} \right)^{0.2987} \left(\frac{h_{sc, vieja}}{h_{sc, nueva}} \right)^{0.1709 \cdot 2} \left(\frac{h_{sc, vieja}}{h_{sc, nueva}} \right)^{-0.0772} \end{aligned} \quad (5)$$

45 Y de ahí la solución de cómo controlar la altura del émbolo $h_{sc, nueva}$ basándose en una posición actual $h_{sc, vieja}$:

$$\frac{h_{sc, nueva}}{h_{sc, vieja}} = \left(\frac{\eta_{nueva}}{\eta_{vieja}} \right)^{-1.1289} \quad (6)$$

Combinando las ecuaciones 3 y 6 se obtiene la solución de cómo controlar la presión de atomización:

$$\frac{P_{nueva}}{P_{vieja}} = \left(\frac{\eta_{nueva}}{\eta_{vieja}} \right)^{0.9508} \quad (7)$$

La fig. 7 es un diagrama de flujo del método de caída de presión diferencial aplicable con el aparato medidor de la caída de presión diferencial en línea 38. En la línea de derivación 32 hay una bomba de alimentación 50 más abajo del punto de dosificación 30. La bomba de alimentación 50 asegura un caudal de alimentación constante en el aparato medidor de caída de presión diferencial 38 para permitir índices de cizallamiento que cubran la segunda meseta de viscosidad newtoniana. Más abajo de la bomba de alimentación 50 hay un medidor de caudal másico 52 a través del cual el producto en pasta en la línea de derivación 32 se dirige hacia un medidor de caída de presión 54. La viscosidad dinámica (η) del producto en pasta en la línea de derivación 32 se calcula a partir del caudal másico determinado en el medidor de caudal másico 52, de la densidad conocida del producto en pasta y de la caída de presión determinada en el medidor de caída de presión 54. Este cálculo se realiza en un ordenador (no representado) del aparato medidor de la caída de presión diferencial 38, o los datos correspondientes se envían al dispositivo de control 48 y la viscosidad dinámica η es calculada por el ordenador del dispositivo de control 48. Teniendo en cuenta que la caída de presión se mide en una línea de derivación 32, el caudal másico que pasa por ella se regula mediante la bomba de alimentación 50 hasta que el índice de cizallamiento queda por encima de 1000 s^{-1} , lo cual permite medir la viscosidad de la segunda meseta newtoniana con el medidor de caída de presión 54 en condiciones de flujo laminar.

Además se instala preferiblemente un amortiguador de pulsaciones en la derivación, con el fin de reducir el ruido en la determinación de la presión.

En el presente ejemplo, el punto de dosificación 30 regula el caudal de la derivación para mantener la presión del flujo en la derivación $< 20 \text{ bar}$, en condiciones de flujo laminar, con un número de Reynolds inferior a 2300.

La fig. 8 muestra el principio de un aparato medidor de la caída de presión diferencial en línea (medidor de caída de presión) que puede instalarse ventajosamente antes de la boquilla de la presente invención.

El medidor de caída de presión 100 se compone de un tubo que tiene una sección de entrada de fluido 102 y una sección de salida de fluido 104, y tres secciones de medición de la caída de presión 106, 108, 110 situadas entre la sección de entrada 102 y la sección de salida 104. La primera sección medidora de la caída de presión 106, que está cerca de la sección de entrada 102, tiene un primer diámetro interno d_1 y una primera longitud axial l_1 . Un primer medidor de presión diferencial 112, que mide una primera caída de presión Δp_1 , está conectado de forma generalmente conocida a la primera sección medidora de caída de presión 106, cuya distancia axial L_1 entre las dos aberturas de medición de presión estática en la pared de la primera sección medidora de caída de presión 106 es sustancialmente igual a la longitud l_1 de la primera sección medidora de caída de presión 106.

La segunda sección medidora de la caída de presión 108 se encuentra según el sentido del flujo tras la primera sección medidora de caída de presión 106. El diámetro interno d_2 de la segunda sección medidora de caída de presión 108 es más pequeño que el diámetro d_1 de la primera sección medidora de caída de presión. La longitud l_2 de la segunda sección medidora de caída de presión 108 es más corta que la longitud de la primera sección medidora de caída de presión 106. La segunda sección medidora de caída de presión 108 lleva un segundo medidor de presión diferencial 114, que mide una segunda caída de presión Δp_2 , cuya distancia L_2 entre las dos aberturas de medición de presión estática en la pared de la segunda sección medidora de caída de presión 108 es más corta que la distancia L_1 del primer medidor de presión diferencial 112.

Tras la segunda sección medidora de caída de presión 108 hay una tercera sección medidora de la caída de presión 110 según el sentido del flujo y la tercera sección medidora de caída de presión 110 se abre hacia la sección de salida 104. El diámetro interno d_3 de la tercera sección medidora de caída de presión 110 es más pequeño que el diámetro d_2 de la segunda sección medidora de caída de presión 108 y la longitud l_3 de la tercera la sección medidora de caída de presión es más corta que la longitud l_2 de la segunda sección medidora de caída de presión. La tercera sección medidora de caída de presión 110 incluye de forma generalmente conocida un tercer medidor de presión diferencial 116 que mide una tercera caída de presión Δp_3 . La distancia L_3 entre las dos aberturas de medición de presión estática en la pared de la tercera sección medidora de caída de presión 110 es más corta que la distancia L_2 del segundo medidor de presión diferencial 114.

El medidor de caída de presión diferencial 100 permite registrar las tres caídas de presión independientes del primer, segundo y tercer medidor de caída de presión diferencial. Con el uso en serie de estas tres sondas de caída de presión

diferencial, un único caudal másico produce tres índices de cizallamiento crecientes en la pared con la disminución del diámetro del tubo.

5 La siguiente ecuación 8 se usa para calcular la viscosidad dinámica η en los tubos de flujo laminar ($Re < 2300$) con las 3 presiones diferenciales Δp_1 , Δp_2 y Δp_3 (medidas respectivamente en 112, 114 y 116, figura 8), reemplazando Δp_i y las respectivas dimensiones del tubo (R_i y L_i) en la ecuación 8:

La 2ª viscosidad dinámica newtoniana solo se encuentra y se emplea, p.ej. en las ecuaciones 1 y 7, etc., cuando la viscosidad dinámica η_i es igual ($\eta_1 = \eta_2 = \eta_3$) entre las 3 presiones diferenciales,

10

$$\eta_i = \frac{\pi \cdot R_i^4 \cdot \Delta p_i \cdot \rho}{8 \cdot Q_m \cdot L_i} \quad (8)$$

Con las siguientes definiciones de los símbolos:

- 15 R_i : radio del tubo (R_1 , R_2 y R_3) en [m]
 Δp_i : caída de presión en el tubo (Δp_1 , Δp_2 y Δp_3) en [Pa]
 ρ : densidad del producto en [kg/m³]
 Q_m : caudal másico en [kg/s]
 L_i : longitud del tubo (distancia L_1 , L_2 y L_3) in [m]

20

Tabla 1: abreviaturas y fórmulas

Símbolo Abreviatura	Descripción	Unidades
$D_{32, global}$	Diámetro global Sauter hallado en mediciones del aerosol con PDA	[m]
d_{sc}	Diámetro de la cámara de turbulencia (menor diámetro de la espiral de la cámara de turbulencia)	[m]
h_{sc}	Altura de la cámara de turbulencia (altura axial de la cámara de turbulencia)	[m]
d_{or}	Diámetro del orificio (diámetro de la abertura hecha en la placa perforada)	[m]
b_{ch}	Anchura del canal de entrada a la cámara de turbulencia (menor anchura del canal de entrada que conduce a la cámara de turbulencia)	[m]
We	Número de Weber $We = \frac{\rho_{liquido} u_{ref}^2 d_{or}}{\sigma_{liquido}}$	
Eu	Número de Euler $Eu = \frac{P}{\rho_{liquido} u_{ref}^2}$	
Re	Número de Reynolds $Re = \frac{\rho_{liquido} u_{ref}^2 h_{sc}}{\mu}$	
u_{ref}	Velocidad de referencia a la entrada de la cámara de turbulencia $u_{ref} = \frac{Q_m}{\rho_{liquido} h_{sc} b_{ch}}$	[m/s]
Q_m	Caudal másico	[kg/s]
P	Presión de atomización	[Pa]
$\rho_{liquido}$	Densidad del líquido	[kg/m ³]
$\eta_{liquido}$	Viscosidad dinámica del líquido	[Pa·s]
$\sigma_{liquido}$	Tensión superficial	[N/m]
PDA	Anemómetro de fase Doppler	-

REIVINDICACIONES

1. Aparato de secado por pulverización que comprende una boquilla atomizadora monofásica (1) provista de una línea principal de producto (34), de al menos un orificio de salida (26) para proyectar gotitas atomizadas de un producto que debe secarse, cuya viscosidad está comprendida entre 1 y 1000 mPa·S, y de al menos un orificio de entrada (24) para transferir dicho producto a una cámara de la boquilla (22), caracterizado por un dispositivo para ajustar el tamaño de las gotitas extraídas en línea durante el proceso de secado por pulverización, de modo que el aparato comprende:
- 5 un aparato medidor de la caída de presión diferencial en línea, provisto de una derivación de la línea principal de producto (34) antes de la boquilla atomizadora (1) según el sentido del flujo, para la determinación continua de la viscosidad dinámica (η) del producto;
- 10 un medidor del caudal másico (40) instalado en la línea principal de producto (34) para medir el caudal del producto que fluye hacia la boquilla (1); un medidor de densidad (42) instalado en la línea principal de producto (34) para medir la densidad del producto que fluye hacia la boquilla (1);
- 15 una sonda de la presión de proyección (44) instalada en la línea principal de producto (34) para medir la presión del producto que fluye hacia la boquilla (1);
- un émbolo (17) para ajustar el volumen de dicha cámara de boquilla (22), de manera que dicha cámara de boquilla (22) tiene un orificio prolongado axialmente a través de ella que tiene una sección superficial circunferencial interior con una sección transversal de forma helicoidal;
- 20 un accionamiento eléctrico (2) para mover dicho émbolo (17) dentro y fuera de dicha cámara de boquilla (22); y un dispositivo de control (48) para regular el accionamiento eléctrico (2) basándose en los parámetros medidos.
2. Aparato de secado por pulverización según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho accionamiento eléctrico (2) lleva un motor eléctrico (4) que acciona giratoriamente un eje de salida (5) de manera que dicha rotación se transforma en un movimiento longitudinal de dicho émbolo (17) mediante un acoplamiento roscado entre dicho eje de salida (5) y dicho émbolo (17).
- 25
3. Aparato de secado por pulverización según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque lleva un manguito de conexión (9) que va fijado de manera desmontable a dicho accionamiento eléctrico (2) y tiene un taladro longitudinal para alojar un eje hueco giratorio (7) que transfiere el movimiento rotatorio de un eje de salida (5) de dicho motor eléctrico (2) a una clavija de ajuste (13) que mueve un émbolo (17) dentro y fuera de dicha cámara de la boquilla (22).
- 30
4. Aparato de secado por pulverización según la reivindicación 3, caracterizado porque dicha clavija de ajuste (13) tiene un taladro axial que se extiende longitudinalmente (14), provisto de una rosca interior (15) acoplada con una rosca externa (16) de dicho émbolo (17), de tal manera que un movimiento giratorio de dicha clavija de ajuste (13) se transforma en un movimiento longitudinal de dicho émbolo (17) móvil en dirección axial.
- 35
5. Aparato de secado por pulverización según las reivindicaciones 3 o 4, caracterizado porque dicha cámara de la boquilla (22) está provista de un cuerpo de cámara de turbulencia (20) que se inserta en una cámara interior de un cuerpo de boquilla (23), de modo que dicho cuerpo de boquilla (23) va fijado de forma desmontable a dicho manguito de conexión (9) y dicho cuerpo de la cámara de turbulencia (20) tiene un canal de apertura (21) que se corresponde con dicho orificio de entrada (24) para introducir dicho material en una cámara de turbulencia (22) de dicho cuerpo de la cámara de turbulencia (20).
- 40
6. Aparato de secado por pulverización según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque dicho orificio de entrada (24) se extiende radialmente respecto a dicho eje longitudinal (28) de dicha boquilla y dicho producto se transfiere a dicha boquilla a través de un tubo (25) que está conectado con dicho orificio de entrada (24).
- 45
7. Aparato de secado por pulverización según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque dicho orificio de boquilla (26) está equipado con una placa perforada (27) montada de forma desmontable de manera que el diámetro de apertura de dicho orificio de la boquilla (26) se puede variar reemplazando la placa perforada (27) por una placa perforada de diferente diámetro.
- 50
8. Aparato de secado por pulverización según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque el ángulo del cono de una neblina de pulverización formada por las gotitas del producto y el tamaño de las gotitas se pueden variar moviendo axialmente el émbolo (17) con respecto a la cámara de la boquilla (22).
- 55
9. Aparato de secado por pulverización según la reivindicación 8, caracterizado porque en la derivación hay una bomba, un medidor de caudal, un tubo de presión diferencial y, opcionalmente, un amortiguador de pulsaciones.
- 60
10. Proceso de secado por pulverización que consiste en
- a) atomizar un producto en pasta mediante un aparato de secado por pulverización según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 en una cámara de secado,
- b) aportar un gas caliente a la cámara de secado para secar el producto en pasta formando un polvo.
- 65

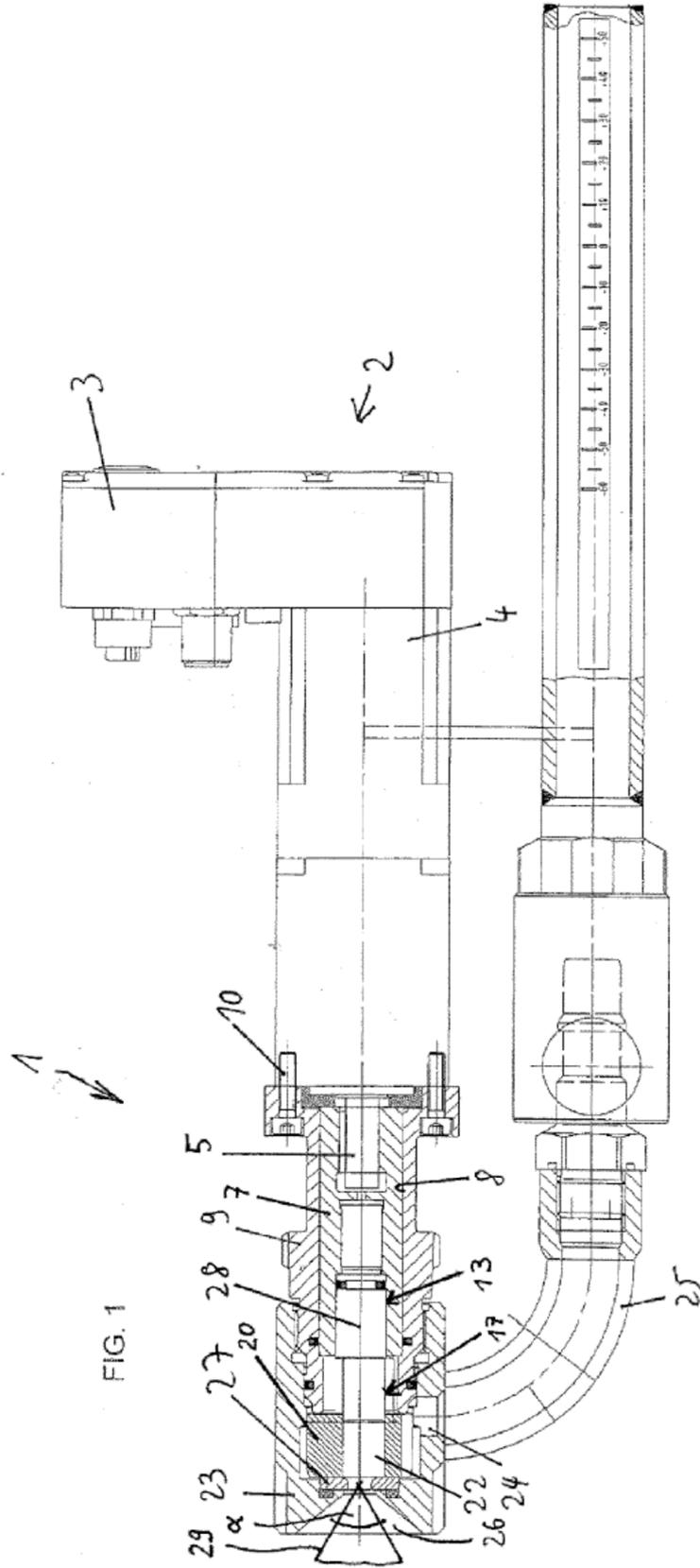


FIG. 2

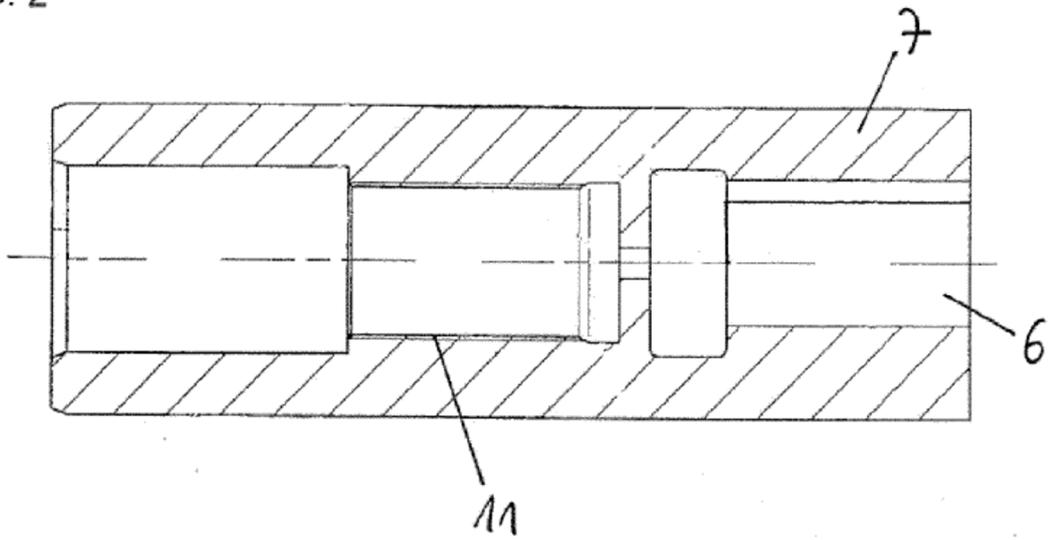
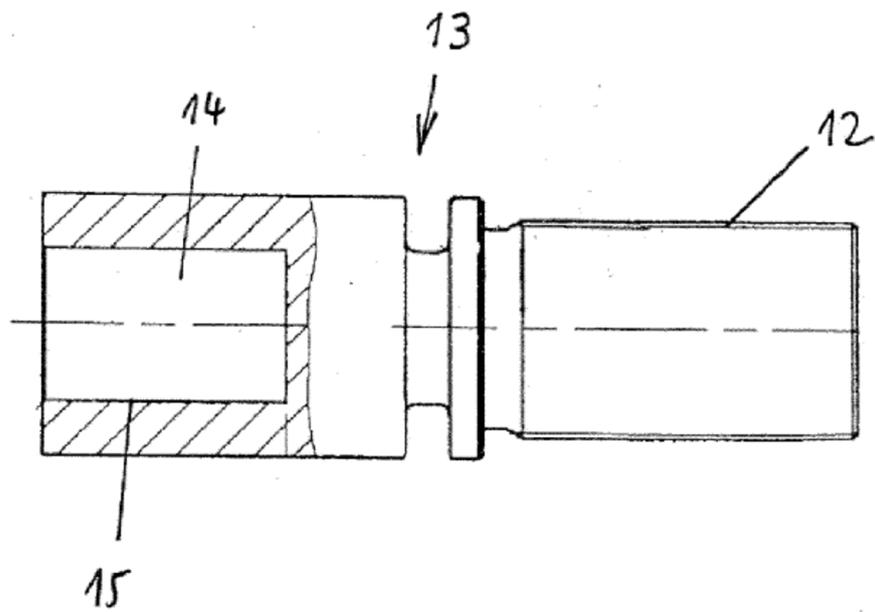


FIG. 3



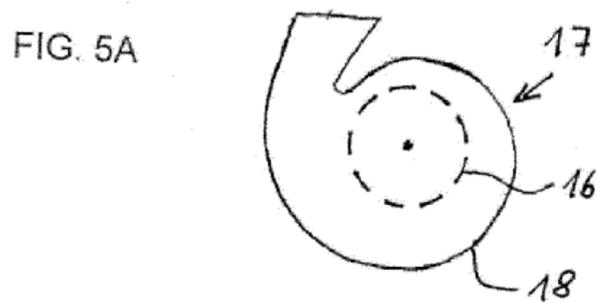
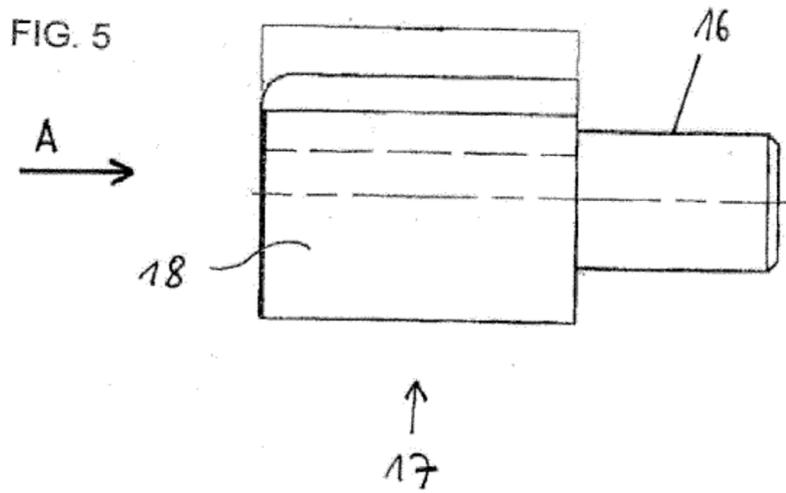
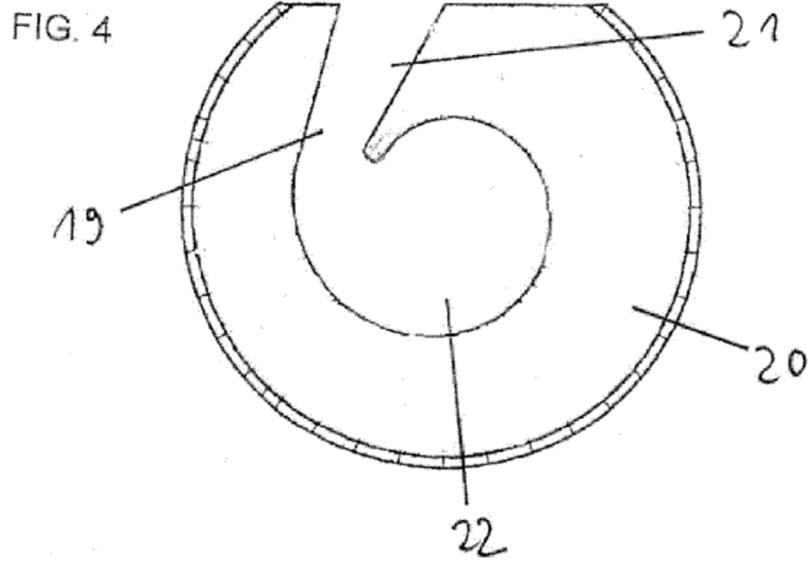


Fig. 6

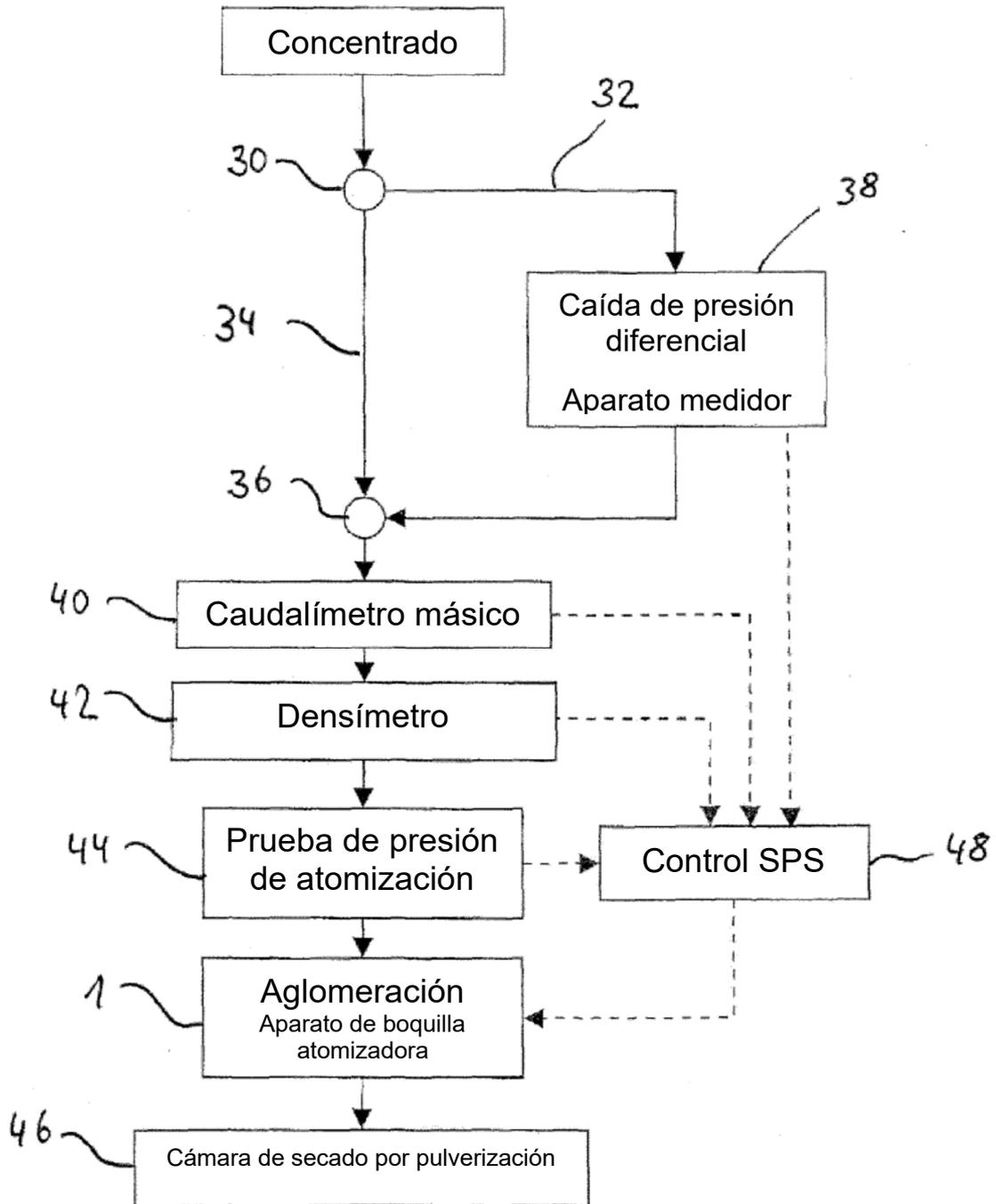


Fig. 7

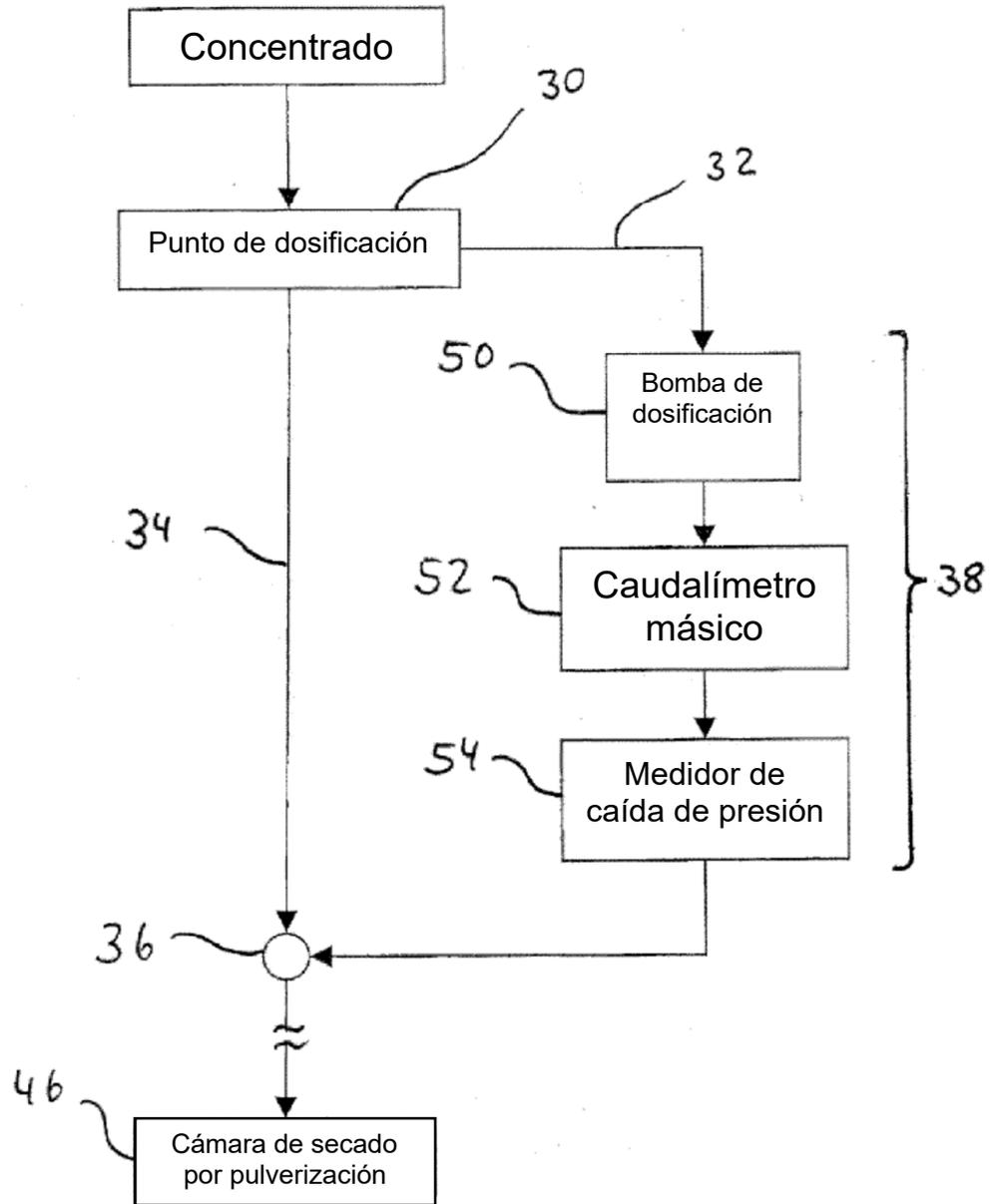


Fig. 8

