

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 985 744**

51 Int. Cl.:

B01J 8/18 (2006.01)

B01J 19/26 (2006.01)

B01J 19/18 (2006.01)

B01J 19/00 (2006.01)

B01J 8/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2018 PCT/EP2018/067286**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2019 WO19002385**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2018 E 18738225 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.02.2024 EP 3645156**

54 Título: **Cámara de vórtice estátor-rotor para procesos de transferencia de masa y/o calor**

30 Prioridad:

29.06.2017 EP 17178756

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

07.11.2024

73 Titular/es:

**UNIVERSITEIT GENT (100.0%)
Sint-Pietersnieuwstraat 25
9000 Gent, BE**

72 Inventor/es:

**VAN GEEM, KEVIN;
GONZALEZ QUIROGA, ARTURO;
MARIN, GUY;
SHTERN, VLADIMIR y
PANTZALI, MARIA**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 985 744 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

Cámara de vórtice estátor-rotor para procesos de transferencia de masa y/o calor

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere al campo de transferencia interfacial de momento, masa y/o energía entre fases en procesos reactivos y no reactivos. Más específicamente, se refiere a un dispositivo y método para poner un medio objetivo en contacto con un fluido portador, por ejemplo, para su uso en un proceso que requiere un intercambio interfacial intensivo de momento, masa y/o energía entre el fluido portador y el medio objetivo.

Antecedentes de la invención

En la técnica se conoce que los procesos reactivos y no reactivos pueden requerir un intercambio interfacial intensivo de masa y energía entre las fases del material, por ejemplo, entre un medio objetivo sólido o líquido y un portador líquido o gaseoso. Asimismo, pueden requerirse tiempos de contacto entre el medio objetivo y el fluido portador que sean del orden de los milisegundos. Tales procesos pueden tener aplicación en, por ejemplo, las industrias farmacéutica, química y petroquímica, de alimentos, medioambiental y de conversión de energía. Ejemplos son, pero sin limitación, el secado, revestimiento, pirólisis, gasificación, combustión, propulsión, polimerización, reformado, craqueo catalítico fluido, reducción catalítica de NO_x, acoplamiento oxidativo de metano, eliminación de NO_x y SO₂ de gases y tratamiento de aguas residuales.

Por ejemplo, en la técnica se conocen procesos en los que una corriente gaseosa actúa como la fase portadora mientras que un sólido, un líquido o una mezcla de los mismos constituye la fase o fases secundarias, es decir, el medio objetivo. La hidrodinámica de tales procesos puede depender del producto de los términos de flotabilidad, por ejemplo, en la diferencia de densidad entre las fases y la aceleración local.

El intercambio interfacial de masa y energía puede verse fuertemente influenciado por la velocidad relativa, o velocidad de deslizamiento, entre las fases. Cuando las fases se ponen en contacto bajo la mera influencia del campo gravitatorio terrestre, la velocidad de deslizamiento se restringirá a un intervalo estrecho. Después de superar una velocidad de deslizamiento predeterminada, el contacto entre las fases no puede mantenerse debido a la falta de equilibrio entre las fuerzas que actúan sobre el sistema.

Se conoce en la técnica que la velocidad de deslizamiento se puede aumentar reemplazando el campo gravitatorio por un campo centrífugo, por ejemplo, con aceleraciones centrífugas que superan la aceleración de la gravedad, para mejorar el intercambio interfacial de masa y de energía.

También se conoce en la técnica realizar procesos gas-sólido que requieren un intercambio interfacial intensivo de masa, momento y/o energía y/o tiempos de contacto cortos en lechos fluidizados gravitacionales. Las partículas sólidas se transforman en un estado similar a un fluido en el que la fuerza de fricción entre las partículas y el fluido contrarresta el peso de las partículas. Pueden existir diferentes regímenes de fluidización, comenzando normalmente desde un lecho burbujeante en el que no hay transporte neto de sólidos. El aumento de la velocidad de deslizamiento gas-sólido conduce a un lecho transportado en el que tanto el gas como los sólidos se mueven hacia arriba y finalmente abandonan el sistema.

Sin embargo, los métodos de fluidización gravitacional gas-sólido como es conocido en la técnica pueden tener la desventaja de que la velocidad de deslizamiento gas-sólido no puede exceder la velocidad terminal de las partículas en el campo gravitacional. Asimismo, la relación de anchura a altura del lecho debe ser lo suficientemente pequeña para evitar falta de uniformidad a gran escala, como la canalización y la formación de flujo de tipo bala. También, pueden presentarse no uniformidades de escala media, tales como burbujas y racimos, lo que puede ser perjudicial para la transferencia interfacial de energía, momento y/o energía y que pueden generar puntos calientes. Asimismo, la fracción de vacío del lecho puede aumentar gradualmente a medida que el lecho se expande, por ejemplo, superando el 90 % en el régimen de lecho transportado. También, cuando las fuerzas de *van der Waals* interpartícula dominan sobre las fuerzas de arrastre y gravitacionales, es posible que no se pueda obtener un lecho fluidizado, por ejemplo, tal como en polvos cohesivos finos o ligeros que tienen un tamaño de partícula del orden de 10 µm.

También se conoce en la técnica realizar procesos gas-líquido y gas-líquido-sólido que requieren un intercambio interfacial intensivo de masa y energía y tiempos de contacto cortos en columnas de burbujeo y columnas de burbujeo en suspensión. Las columnas de burbujas son recipientes cilíndricos en los que se inyecta gas como burbujas a través de un distribuidor o rociador, en un líquido o en una suspensión de sólidos finos en un líquido. El gas fluye en paralelo o en contracorriente a la dirección de flujo de líquido. Para el contacto gas-líquido, existen diferentes regímenes de flujo, normalmente a partir de un flujo burbujeante homogéneo en el que la velocidad superficial del gas es inferior a 0,05 m/s. La velocidad superficial del gas es directamente proporcional a la velocidad relativa o de deslizamiento. El aumento de la velocidad superficial del gas conduce a un flujo de tipo bala o a un flujo de burbujas heterogéneo dependiendo del área de sección transversal de la columna, por ejemplo, un régimen agitado-turbulento.

Sin embargo, los métodos de columna de burbujeo gravitacional gas-líquido y gas-líquido-sólido pueden tener la desventaja de que, para una columna de un área de sección transversal dada, el régimen de flujo burbujeante homogéneo presenta burbujas relativamente pequeñas de tamaño uniforme, pero el caudal de gas está limitado para mantener la velocidad superficial del gas por debajo de 0,05 m/s. En el régimen de flujo burbujeante homogéneo, se pueden lograr buenos resultados en términos de transferencia de masa, pero las columnas de burbujeo industriales pueden operar normalmente en condiciones de flujo heterogéneas, lo que conduce a alturas de columna excesivas. En estas condiciones, velocidades terminales de burbuja, las tensiones de cizallamiento interfaciales y los flujos de masa de inmersión pueden disminuir, mientras que los tamaños de las burbujas pueden tender a aumentar.

Para procesos gas-sólido, se conoce además la implementación de un lecho fluidizado centrífugo. Por ejemplo, en un lecho fluidizado rotatorio, la rotación de una cámara cilíndrica, que tiene dos paredes planas en los extremos y una pared exterior cilíndrica perforada, puede ser accionada aplicando trabajo eléctrico externo. El gas portador puede fluir radialmente hacia el interior a través de las perforaciones, luego alcanza el lecho sólido que rota sustancialmente a la misma velocidad de rotación que la cámara, y finalmente fluye fuera a través de una salida de gas en el centro de una de las paredes de los extremos. Algunas desventajas de este enfoque pueden ser un arrastre significativo de partículas en el caso de polvos cohesivos finos, un alto consumo de energía adicional para mantener la rotación de la cámara, una limitación de la fuerza centrífuga por la velocidad de rotación máxima de un árbol accionado.

De igual manera, se conoce en la técnica mejorar los procesos gas-líquido y gas-líquido-sólido que requieren un intercambio interfacial intensivo de masa y energía y tiempos de contacto cortos mediante la aplicación de fuerzas centrífugas. Por ejemplo, en un reactor de disco giratorio de rotor y estátor, las fuerzas centrífugas y las fuerzas de alto cizallamiento actúan simultáneamente sobre el sistema multifase. En tal sistema, un disco giratorio con una película líquida en el rotor se separa de un estátor, por un hueco común del orden de milímetros. Sin embargo, una desventaja de tales enfoques es que puede implicar un alto consumo de energía para mantener la velocidad de cizallamiento y la rotación del rotor. Asimismo, debido a la geometría, solo se puede lograr un rendimiento de gas limitado y una tendencia a la separación de fases.

Para procesos gas-sólido, también se conoce implementar un lecho fluidizado centrífugo usando la energía del gas portador para mantener el lecho sólido rotatorio en una cámara cilíndrica, que puede denominarse lecho fluidizado rotatorio en una geometría estática o una unidad de vórtice gas-sólido. En tal enfoque, una cámara cilíndrica estática puede tener ranuras de entrada tangenciales distribuidas uniformemente en la pared exterior cilíndrica. El gas portador puede entrar a velocidades que normalmente superan los 50 m/s, desacelera después de transferir el momento a los sólidos y finalmente fluye a través de una salida de gas en el centro de una de las paredes de los extremos. Las desventajas de este enfoque pueden ser que el arrastre de partículas puede ser causado por chorros de gas cerca de la pared estática, solo se puede obtener una velocidad de rotación relativamente baja debido a la fricción excesiva entre el lecho sólido y las paredes estáticas y se puede implicar un alto consumo de energía debido a la relación de caudal de masa de gas a sólido excesiva requerida para sostener el lecho rotatorio. De igual manera, un reactor de burbujeo centrífugo, como es conocido en la técnica también, se asemeja a la unidad de vórtice gas-sólido mencionada anteriormente en el presente documento. En tal reactor, se crea una mezcla gas-líquido altamente dispersa. Sin embargo, las mismas desventajas que se han mencionado anteriormente en el presente documento pueden aplicarse a la variante gas-sólido. Un dispositivo con características similares a las necesarias para realizar la invención se describe en el documento JP S55 20654 A.

Sumario de la invención

Es un objetivo de las realizaciones de la presente invención proporcionar medios y métodos buenos y eficientes para permitir procesos reactivos y/o no reactivos fluido-sólido, fluido-líquido y fluido-líquido-sólido que requieran un intercambio interfacial intensivo de masa y/o energía entre una fase de fluido portador y un medio objetivo, por ejemplo, al requerir tiempos de contacto del orden de los milisegundos.

El objetivo anterior se logra mediante un método y dispositivo de acuerdo con la presente invención.

En un método y/o dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, un distribuidor para un medio objetivo se puede incorporar y/o usar, el cual puede rotar libremente alrededor del eje del dispositivo, el cual puede conectarse a una parte estática del dispositivo, por ejemplo, por rodamientos, y que pueden ser accionados por la velocidad de rotación de un fluido portador, cuyo fluido también puede penetrar en el distribuidor, por ejemplo, a través de una pared circunferencial perforada del mismo.

Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede lograr una buena eficiencia de intercambio interfacial de masa y energía. Por ejemplo, para aplicaciones que implican una fase sólida, chorros de fluido, por ejemplo, chorros de gas, en un dispositivo o método de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede reducir la capa límite de gas que rodea las partículas. Asimismo, se pueden lograr altas velocidades de deslizamiento gas-sólido. Así pues, se puede lograr una buena transferencia interfacial de masa y energía.

Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede lograr una buena aceleración centrífuga del sistema multifase, por ejemplo, excediendo la gravedad varias veces, por ejemplo, más de diez veces, y, así pues,

un buen intercambio interfacial de momento, masa y/o energía se puede lograr.

5 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que los procesos de transferencia de masa y energía no estén limitados por las velocidades de deslizamiento limitadas que están implícitas al confiar en la fuerza gravitacional para equilibrar al menos parcialmente una fuerza de arrastre gas-sólido.

10 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que velocidades de deslizamiento fluido-sólido, fluido-líquido y/o fluido-sólido/líquido que superan significativamente las logradas por (al menos un) lecho fluidizado gravitacional, como es conocido en la técnica, se pueden lograr, por ejemplo, debido a la aplicación de una gran fuerza centrífuga. Al permitir que un lecho sólido, una capa líquida o una capa líquido-sólido roten junto con un rotor, es decir, el distribuidor, se pueden alcanzar velocidades tangenciales en una parte circunferencial exterior del rotor que están ventajosamente cerca de la velocidad de inyección del fluido portador.

15 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que la potencia suministrada externamente se use eficientemente en la operación de un dispositivo o aplicación de un método de acuerdo con las realizaciones de la presente invención.

20 Por ejemplo, la potencia suministrada por la inyección del fluido portador, por ejemplo, la energía cinética del fluido portador, se puede convertir eficientemente en energía cinética de rotación del distribuidor, por ejemplo, la parte de rotor del dispositivo y, por lo tanto, al lecho sólido, capa líquida o capa líquida-sólida, durante el funcionamiento del dispositivo.

25 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede lograr un buen intervalo de caudal de masa de la fase portadora, por ejemplo, en un proceso energéticamente eficiente.

30 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que no es necesario aplicar ningún trabajo eléctrico externo para accionar un árbol. Una ventaja adicional es que se pueden lograr altas velocidades de rotación. También es una ventaja que un distribuidor en un dispositivo de acuerdo con las realizaciones pueda rotar a altas velocidades de rotación, y esta rotación pueda mantenerse de manera eficiente, debido a las bajas pérdidas por fricción.

35 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que se pueda lograr un amplio intervalo de operación de la fase portadora.

Por ejemplo, se pueden lograr aceleraciones centrífugas que superen diez veces la aceleración de la gravedad, por ejemplo, para un caudal de fluido portador más bajo, por ejemplo, caudal de gas portador, de lo requerido para al menos un dispositivo o método como es conocido en la técnica.

40 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede reducir el arrastre de partículas, por ejemplo, en comparación con al menos un enfoque de la técnica anterior, por ejemplo, particularmente para polvos cohesivos finos. Por ejemplo, pueden reducirse los efectos de los chorros de fluido cercanos a la pared del extremo que podrían provocar el arrastre de partículas.

45 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que la inyección de fluido portador tangencial puede reducir y/o evitar el arrastre de partículas finas, por ejemplo, ceniza, lo que puede reducir la contaminación en aplicaciones de combustión. Esto último puede conducir además a un buen intervalo de operación de fase de portadora.

Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que las no uniformidades de escala media perjudiciales se pueden evitar, reducir y/o controlar.

50 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se pueden evitar y/o reducir las no uniformidades de escala media perjudiciales y el arrastre de partículas sin requerir la adición de modificadores de patrón de flujo, tales como polvos finos o aceites, para suprimir el burbujeo y minimizar el arrastre de partículas. Sin embargo, las realizaciones de la presente invención pueden comprender aún el uso de tales modificadores del patrón de flujo para reducir adicionalmente las faltas de uniformidad a escala media y/o el arrastre de partículas.

55 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se pueden evitar y/o reducir las no uniformidades de escala media perjudiciales y el arrastre de partículas usando un fluido portador de viscosidad y/o densidad moderadas, y/o usando una presión operativa relativamente baja, y/o sin depender de una pulsación periódica del flujo de fluido portador. Sin embargo, las realizaciones de la presente invención no excluyen necesariamente el uso adicional de tales soluciones como es conocido en la técnica.

60 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que, sustancialmente compactos y/o uniformes, un lecho sólido, una capa líquida o una capa líquido-sólido se pueden lograr, por ejemplo, debido a una mayor fuerza centrífuga radialmente hacia fuera que se opone a la fuerza de arrastre radial hacia el interior fluido-sólido, fluido-líquido o fluido-líquido-sólido.

65

Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que las fuerzas de inercia y de arrastre pueden autoequilibrarse, permitiendo así un control de proceso simple.

5 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que, para aplicaciones que implican una fase sólida, se puede lograr un buen control sobre la integridad mecánica de las partículas sólidas, por ejemplo, la integridad mecánica de las partículas puede conservarse mediante un desgaste ventajosamente bajo. Por ejemplo, preservar una buena integridad mecánica de las partículas puede ser ventajoso en aplicaciones donde se usan catalizadores o absorbedores de gas.

10 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede usar un campo centrífugo fuerte para sostener de manera efectiva y eficiente un lecho sólido, una capa líquida o una capa líquido-sólido rotatorios dentro de un amplio intervalo de caudal de masa de fluido portador, por ejemplo, un amplio intervalo de caudal de masa de gas.

15 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que un lecho sólido pueda casi coincidir con la velocidad del distribuidor, es decir, el rotor, de modo que se puedan reducir las colisiones partícula-partícula y partícula-pared.

20 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede usar de manera eficiente una cámara cilíndrica que tiene una altura baja en relación con su diámetro, por ejemplo, que tiene una relación de altura a diámetro en el intervalo de 0 a 5, por ejemplo, en el intervalo de 0 a 3, por ejemplo, en el intervalo de 0 a 1, o incluso en el intervalo de 0 a 0,5. Es una ventaja de las realizaciones que una sección de desacoplamiento, en la que el área de la sección transversal de la cámara aumente sustancialmente, no sea requerida. Así pues, se puede proporcionar una solución compacta. No obstante, las realizaciones de la presente invención no excluyen necesariamente relaciones de altura a diámetro más grandes, por ejemplo, superiores a 5, y/o no excluyen necesariamente una cámara que comprende una sección de desacoplamiento.

25 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que un lecho sólido, capa líquida o capa líquida-sólida, durante el funcionamiento del dispositivo o en la aplicación del método de acuerdo con las realizaciones, pueden crecer en la dirección radial hacia el centro de la cámara, por ejemplo, ocupando diferentes posiciones radiales hasta aproximadamente el 40 % del radio de la cámara.

30 Al inyectar ventajosamente un fluido tangencialmente en la cámara a través de una única entrada, o una pluralidad de entradas, un rotor, es decir, el distribuidor de fluido, puede conducirse de manera eficiente. En particular, el rotor puede ser, ventajosamente, montado de manera rotatoria usando un rodamiento de baja fricción. Por lo tanto, se puede lograr de manera eficiente una alta aceleración centrífuga.

35 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que las partes rotatorias, durante el funcionamiento de un dispositivo o aplicación de un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, pueden limitarse a (por ejemplo, solo a) el distribuidor, que ventajosamente puede soportar el lecho sólido, la capa líquida o la capa líquida-sólida rotatorios mientras también se conforma el flujo de fluido portador incidente. Por lo tanto, la fricción del lecho, la capa de fluido o la capa de fluido-sólido rotatorios puede ser ventajosamente baja.

40 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que no se requiere usar un hueco estrecho entre una parte de rotor y una parte de estátor para generar fuerzas de alto cizallamiento, por ejemplo, un hueco estrecho del orden de milímetros, por ejemplo, menor que 15 mm, por ejemplo, menor que 10 mm, por ejemplo, menor que 5 mm, entre el rotor y el estátor. Sin embargo, también es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que se puede usar un hueco estrecho entre el rotor y la parte de estátor para generar fuerzas de alto cizallamiento para accionar la rotación de la parte de rotor, por ejemplo, junto con estructuras de aletas cortas en el rotor o incluso en ausencia de tales estructuras de aletas.

45 En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo para poner en contacto una fase sólida un medio objetivo líquido con un fluido portador en un proceso que requiere un intercambio interfacial intensivo de momento, masa y/o energía entre el fluido portador y el medio objetivo. El dispositivo comprende una cámara que comprende una pared circunferencial, una pared inferior y una pared superior, configuradas de tal manera que la cámara forma un recinto para contener el medio objetivo mientras entra en contacto con el fluido portador durante el funcionamiento del dispositivo, por ejemplo, la cámara está adaptada para formar un recinto para contener el medio objetivo durante el funcionamiento del dispositivo, por ejemplo, la pared circunferencial, la pared inferior y la pared superior están dispuestas de tal manera que se forma un recinto para contener el medio objetivo durante el funcionamiento del dispositivo.

50 La cámara es sustancialmente simétrica rotacionalmente con respecto a un eje de simetría, por ejemplo, la cámara puede tener generalmente una forma simétrica rotacionalmente, por ejemplo, puede ser simétrica rotacionalmente en la medida en que se ignore una asimetría debido a que la al menos una entrada de fluido interrumpe la pared circunferencial y/o en la medida en que se ignoren desviaciones triviales de la simetría rotacional que no afecten significativamente la función y/o el funcionamiento del dispositivo. Por ejemplo, la cámara puede ser generalmente de forma circular y/o cilíndrica.

La cámara está adaptada para permanecer, por ejemplo, configurada para permanecer, mecánicamente estática durante el funcionamiento del dispositivo, por ejemplo, particularmente no está adaptada para rotar o configurada para rotar con respecto a un marco de referencia estático externo.

5 El dispositivo comprende al menos una entrada de fluido para inyectar el fluido portador bajo presión en la cámara, por ejemplo, bajo una diferencia de presión, por ejemplo, para inyectar el fluido portador cuando se aplica una diferencia de presión entre la cámara y la al menos una entrada de fluido durante el funcionamiento del dispositivo.

10 La al menos una entrada de fluido está adaptada para inyectar, por ejemplo, configurada para inyectar, por ejemplo, dispuesta de tal manera que se inyecte, el fluido portador en la cámara en una dirección sustancialmente tangencial con respecto a una superficie interior de la pared circunferencial. Por ejemplo, la dirección sustancialmente tangencial, por ejemplo, o la dirección tangencial, pueden referirse a una distribución de la inyección a lo largo de las direcciones en la abertura que tiene un componente tangencial principal, por ejemplo, una componente tangencial predominante, por ejemplo, de modo que la velocidad del flujo inyectado en una dirección tangencial sea al menos 10 veces mayor que la velocidad del flujo inyectado en una dirección radial.

El dispositivo también comprende una salida para dejar que el fluido portador fluya fuera de la cámara, por ejemplo, para recoger el fluido portador de la cámara.

20 En realizaciones de la presente invención, la dirección sustancialmente tangencial puede, sin embargo, comprender un componente axial, por ejemplo, para mejorar la mezcla de partículas en la dirección axial.

Tangencial, radial y axial pueden referirse a un sistema de coordenadas cilíndrico o sistema de referencia direccional cilíndrico en el que la orientación axial puede identificarse con el eje de simetría.

25 El dispositivo también comprende un distribuidor de fluido dispuesto en la cámara. El distribuidor de fluido comprende una pared cilíndrica perforada y está adaptado para desviar el fluido portador inyectado para que pase a través de la pared cilíndrica perforada en una dirección sustancialmente radial hacia el interior con respecto al eje de simetría. Por ejemplo, la dirección sustancialmente radial hacia el interior, por ejemplo, o la dirección radial hacia el interior, puede referirse a una distribución de la velocidad de flujo cerca, en o a través del distribuidor en direcciones que tienen un componente radial mayoritario orientado hacia el interior.

30 El distribuidor es sustancialmente simétrico rotacionalmente con respecto al eje de simetría, por ejemplo, el distribuidor puede tener generalmente una forma simétrica rotacionalmente, por ejemplo, puede ser rotacionalmente simétrico en la medida en que se ignore una asimetría o en la medida en que se ignoren desviaciones triviales de la simetría rotacional que no afecten significativamente la función y/o el funcionamiento del dispositivo. Por ejemplo, el distribuidor puede tener la forma de una superficie de revolución, por ejemplo, puede ser generalmente circular, de forma cilíndrica o toroidal.

40 El distribuidor está adaptado además para rotar, por ejemplo, configurado o dispuesto para rotar, alrededor del eje de simetría. Esta rotación es impulsada por la conversión de la energía cinética del fluido portador inyectado en energía de rotación del distribuidor de fluido en la operación del dispositivo, por ejemplo, mientras que el distribuidor desvía el fluido portador inyectado en una dirección de flujo correspondiente a la dirección sustancialmente radial hacia el interior.

45 El distribuidor de fluido comprende al menos una aleta que se extiende desde el distribuidor de fluido en una dirección hacia fuera sustancialmente radial con respecto a dicho eje de simetría. La al menos una aleta está dispuesta para convertir la energía cinética del fluido portador inyectado en energía rotacional del distribuidor de fluido mientras se redirige el fluido portador inyectado para pasar en dicha dirección sustancialmente radial hacia el interior a través de perforaciones de dicha pared cilíndrica perforada.

50 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la al menos una entrada de fluido puede formar una abertura en la pared circunferencial.

55 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la al menos una entrada de fluido puede formar una abertura en la pared inferior o en la pared superior.

60 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la cámara puede estar adaptada para, por ejemplo, configurada para, permitir un intercambio, por ejemplo, un intercambio homogéneo o heterogéneo, de momento, masa y/o energía entre el fluido portador y el medio objetivo.

65 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor puede estar separado de la pared circunferencial de la cámara por un hueco que tiene un ancho en el intervalo de 1 mm a 15 mm, por ejemplo, en el intervalo de 1 mm a 10 mm, por ejemplo, en el intervalo de 1 mm a 5 mm, por ejemplo, en el intervalo de 2 mm a 5 mm, por ejemplo, en el intervalo de 2 mm a 10 mm, por ejemplo, en el intervalo de 3 mm a 6 mm. Por ejemplo, la rotación de dicho distribuidor puede ser accionada únicamente por fuerzas de cizallamiento sin requerir aletas o

5 estructuras similares a aletas en el distribuidor para accionar la rotación. Pero en las realizaciones de la presente invención, el distribuidor separado de la pared circunferencial por tal hueco como se ha descrito anteriormente en el presente documento también puede comprender una aleta corta o aletas cortas o estructuras similares a aletas, por ejemplo, que tengan una longitud en el intervalo de 1 mm a 15 mm, por ejemplo, en el intervalo de 1 mm a 10 mm, por ejemplo, en el intervalo de 1 mm a 5 mm. Claramente, la longitud de la al menos una aleta o estructuras similares a aletas puede ser menor, por ejemplo, un poco menor, que el ancho del hueco en tales realizaciones.

10 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor puede estar adaptado para, por ejemplo, configurada para, rotar alrededor del eje de simetría debido a una transferencia de momento del fluido portador al distribuidor causada por tensiones de cizallamiento.

15 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, durante el funcionamiento del dispositivo, se puede formar un lecho rotatorio del medio objetivo y el fluido portador en la cámara. El medio objetivo puede comprender una fase sólida o un fluido. Por ejemplo, el lecho rotatorio puede fluidizar el medio objetivo que comprende una fase sólida en el fluido portador.

20 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la cámara puede formar un lecho fluidizado para fluidizar el medio objetivo que comprende una fase sólida en el fluido portador, por ejemplo, en el que el fluido portador puede comprender un líquido y/o un gas.

En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la cámara puede estar adaptada, por ejemplo, configurada, para poner en contacto el medio objetivo que comprende un líquido con el fluido portador, por ejemplo, en el que el fluido portador puede comprender un líquido y/o un gas.

25 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el dispositivo puede estar adaptado para proporcionar una velocidad acimutal entre el fluido portador inyectado y la pared circunferencial que sea mayor que 5 m/s, por ejemplo, en el intervalo de 5 m/s a 500 m/s, por ejemplo, en el intervalo de 10 m/s a 300 m/s, por ejemplo, en el intervalo de 10 m/s a 100 m/s. Por ejemplo, en un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor puede estar adaptado para rotar a una velocidad angular en el intervalo de 100 a 200 rad/s, por ejemplo, en el intervalo de 200 a 1500 rad/s, por ejemplo, en el intervalo de 250 a 1000 rad/s.

30 Un dispositivo de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede comprender una alimentación de entrada para alimentar el medio objetivo en la cámara, por ejemplo, antes y/o durante el funcionamiento del dispositivo. Como alternativa, la cámara puede configurarse de tal manera que pueda abrirse antes de la operación del dispositivo para introducir el medio objetivo en la cámara.

35 Cabe señalar que las tensiones de cizallamiento tangenciales que actúan sobre el distribuidor, por ejemplo, en un cilindro perforado, pueden ser suficientes para accionar la rotación del distribuidor, por ejemplo, sin requerir necesariamente una aleta como se ha mencionado anteriormente en el presente documento.

40 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la al menos una aleta puede ser curvada, teniendo una porción de extremo libre distal del distribuidor que se desplaza angularmente con respecto a una porción de extremo fija (de la aleta) proximal al distribuidor, en la que el desplazamiento angular es un desplazamiento angular alrededor del eje de simetría contra la dirección de flujo en la que el fluido portador se inyecta en la cámara por la al menos una entrada de fluido durante el funcionamiento del dispositivo. Tal aleta curvada, por ejemplo, una aspa de tipo turbina, puede mejorar ventajosamente la transferencia de momento desde el fluido de entrada.

45 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor, por ejemplo, la parte del rotor, puede estar formado integralmente, por ejemplo, incluyendo opcionalmente la al menos una aleta.

50 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor de fluido puede estar separado de las paredes inferior y/o superior de la cámara por un hueco. Este hueco puede estar presurizado, por ejemplo, para superar ligeramente la presión en la cámara, durante el funcionamiento del dispositivo. Esto puede impedir ventajosamente un aumento de la fricción debido al material, por ejemplo, partículas finas, entrando en el hueco.

55 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la al menos una aleta puede comprender al menos tres aletas distribuidas uniformemente alrededor de la circunferencia del distribuidor.

60 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la superficie circunferencial exterior del distribuidor, por ejemplo, el cilindro perforado, puede tener un área abierta en el intervalo de 40 % a 99 %, por ejemplo, en el intervalo de 50 % a 90 %. El cilindro puede formar un lecho sólido toroidal, una capa líquida o un soporte de capa líquida-sólida durante el funcionamiento del dispositivo.

65 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, al menos una parte de la pared inferior puede estar formada por una placa inferior que está dispuesta centralmente alrededor del eje de simetría en un plano perpendicular al eje de simetría y que está desacoplada mecánicamente del distribuidor para permanecer

mecánicamente estática cuando el distribuidor rota alrededor del eje de simetría.

5 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la placa inferior puede ser simétrica rotacionalmente con respecto al eje de simetría. La placa inferior puede ser cónica para extenderse hacia la pared superior en una región central de la placa inferior y para extenderse lejos de la pared superior en una región periférica de la placa inferior.

10 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor puede estar soportado mecánicamente para permitir que el distribuidor gire alrededor del eje de simetría, por ejemplo, gire libremente para permitir que sea accionado por el fluido portador inyectado.

15 Un dispositivo de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede comprender un árbol rotatorio para rotar alrededor del eje de simetría, en el que el árbol rotatorio está unido mecánicamente al distribuidor para soportar mecánicamente el distribuidor y permitir la rotación del distribuidor.

En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el árbol rotatorio puede comprender un rodamiento externo en su superficie exterior para acoplar un mango formado en un alojamiento de la cámara.

20 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor puede comprender una estructura de unión para unir mecánicamente el árbol rotatorio al distribuidor, por ejemplo, al cilindro que tiene perforaciones proporcionadas en el mismo para permitir que el fluido portador inyectado pase a través del distribuidor en la dirección sustancialmente radial hacia el interior.

25 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el árbol rotatorio puede ser un árbol hueco, en el que el árbol rotatorio puede comprender un rodamiento interno en su superficie interior para acoplar un husillo que se proporciona coaxialmente dentro del árbol rotatorio. Este husillo puede estar unido mecánicamente a la placa inferior.

30 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la estructura de unión puede comprender una placa que está orientada perpendicular al árbol. Esta placa puede estar ranurada para formar un sello de fluido de laberinto junto con la placa inferior.

35 El dispositivo de acuerdo con las realizaciones de la presente invención comprende una salida para dejar que el fluido portador fluya fuera de la cámara. Por ejemplo, un dispositivo de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede comprender un escape, por ejemplo, una estructura de chimenea, para recoger el fluido portador de la cámara, por ejemplo, a través de una abertura en la cámara, por ejemplo, la salida puede ser o comprender un escape, por ejemplo, una estructura de chimenea. El escape, por ejemplo, la estructura de chimenea, puede adaptarse para recoger el fluido portador de la cámara a través de una abertura en la pared superior, por ejemplo, en una región central de la pared superior. El escape, por ejemplo, la estructura de chimenea, puede adaptarse para recoger el fluido portador de la cámara a través de una abertura en la pared inferior, por ejemplo, en una región central de la pared inferior. El escape, por ejemplo, la estructura de chimenea o estructuras de chimenea, puede adaptarse para recoger el fluido portador de la cámara a través de una abertura en las paredes superior e inferior, por ejemplo, en una región central de las paredes superior e inferior.

45 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la al menos una entrada de fluido puede comprender una boquilla que termina en la abertura en la pared circunferencial, en donde esta boquilla tiene una primera sección de pared que se conecta de manera continua y tangencial a la superficie interior de la pared circunferencial y una segunda sección de pared que se conecta a la superficie interior en un ángulo agudo para enfocar un flujo del fluido portador inyectado acimutalmente a lo largo la superficie interior.

50 En un segundo aspecto, la presente invención también se refiere a un método para poner un medio objetivo en contacto con un fluido portador en un proceso que requiere un momento, intercambio interfacial intensivo de masa y/o energía entre el fluido portador y el medio objetivo, comprendiendo el método:

- 55
- alimentar el medio objetivo en una cámara, para contener el medio objetivo mientras entra en contacto con el fluido portador, en el que esta cámara es sustancialmente simétrica rotacionalmente con respecto a un eje de simetría y está adaptada para permanecer mecánicamente estática mientras se realiza el método;
 - 60 - inyectar el fluido portador a presión en la cámara, por ejemplo, a través de al menos una abertura en una pared circunferencial de la cámara, en el que esta inyección es en una dirección sustancialmente tangencial con respecto a una superficie interior de la pared circunferencial de la cámara;
 - hacer pasar el fluido portador inyectado en una dirección sustancialmente radial hacia el interior a través de una pared cilíndrica perforada de un distribuidor de fluido montado de manera rotatoria en dicha cámara;
 - 65 - dejar que dicho fluido portador fluya fuera de dicha cámara, por ejemplo, recoger el fluido portador de la cámara a

través de una salida, y

- accionar una rotación de un distribuidor de fluido en la cámara por el fluido portador inyectado, debido a la conversión de la energía cinética del fluido portador inyectado en energía de rotación del distribuidor de fluido, en la que el fluido portador inyectado se desvía en una dirección de flujo correspondiente a una dirección sustancialmente radial hacia el interior con respecto al eje de simetría y pasa a través de perforaciones de la pared cilíndrica perforada del distribuidor hacia el eje de simetría.

El medio objetivo se alimenta hacia una región delimitada que se extiende desde la pared cilíndrica perforada en la dirección radial hacia el interior. El fluido portador inyectado se desvía en al menos una aleta que se extiende desde el distribuidor de fluido en una dirección sustancialmente radial hacia fuera, convirtiendo de ese modo la energía cinética del fluido portador inyectado en energía rotacional del distribuidor de fluido. La al menos una aleta desvía y redirige el fluido portador inyectado para pasar en dicha dirección sustancialmente radial hacia el interior a través de perforaciones de dicha pared cilíndrica perforada.

Los aspectos particulares y preferidos de la invención se exponen en las reivindicaciones independientes y dependientes adjuntas. Las características de las reivindicaciones dependientes pueden combinarse con características de las reivindicaciones independientes y con características de otras reivindicaciones dependientes según sea apropiado y no simplemente como se establece explícitamente en las reivindicaciones.

Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes y se dilucidarán con referencia a la(s) realización(es) que se describen a continuación en el presente documento.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra una vista superior esquemática de un dispositivo ilustrativo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Figura 2 muestra una vista lateral esquemática de un dispositivo ilustrativo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Figura 3 muestra una vista esquemática tridimensional de un dispositivo ilustrativo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Figura 4 muestra una vista detallada tridimensional de una cámara y un distribuidor en un dispositivo ilustrativo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Figura 5 muestra una sección transversal de una cámara, un distribuidor y un árbol en un dispositivo ilustrativo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Figura 6 muestra una sección transversal de un árbol en un dispositivo ilustrativo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Figura 7 ilustra esquemáticamente una parte de rotor de un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Figura 8 muestra, a modo de ejemplo, una comparación de la velocidad acimutal de un lecho fluidizado que puede lograrse mediante un dispositivo y método de acuerdo con las realizaciones de la presente invención, y la de una tecnología de fluidización centrífuga gas-sólido de la técnica anterior.

La Figura 9 ilustra esquemáticamente un distribuidor de un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Figura 10 ilustra un sistema de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Figura 11 muestra ubicaciones de sitios de medición de presión en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 12 muestra una vista desde una cámara digital colocada debajo de un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 13 muestra una configuración para velocimetría de imagen de partículas bidimensional en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 14 muestra la velocidad de rotación del rotor tanto para el flujo libre de partículas como para el flujo de partículas en función de la velocidad de entrada de aire y el caudal de masa de aire, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 15 muestra las velocidades acimutales de lecho sólido calculadas en función de la velocidad de entrada de aire y el caudal de masa de aire, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 16 muestra la distribución de presión en la camisa de entrada de gas para un flujo libre de partículas y cinco casos ilustrativos de flujo de partículas, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 17 muestra las diferencias de presión con respecto a la Camisa p1 en la Cámara p1 y la Cámara p4, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 18 muestra una geometría detallada y las ubicaciones radiales de las tomas de presión en relación con las diferencias de presión ilustradas en la Figura 17, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 19 muestra las diferencias de presión con respecto a la Camisa p1 en las ubicaciones de Escape p1, p2, p3 y p4, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 20 muestra las ubicaciones de las tomas de presión en relación con las diferencias de presión ilustradas

en la Figura 19, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 21 muestra las ubicaciones de las tomas de presión en relación con las diferencias de presión ilustradas en la Figura 22, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

5 La Figura 22 muestra las diferencias de presión con respecto a la Camisa p1 en las ubicaciones "Pared Exterior Superior", "Centro Superior" y en la línea de salida, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 23 muestra un perfil de presión para un flujo libre de partículas y con partículas, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

10 La Figura 24 muestra la contribución de tres secciones de un dispositivo de acuerdo con las realizaciones de la presente invención a la caída de presión total para el flujo libre de partículas y para el flujo de partículas, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 25 muestra velocidades acimutales medidas a través de PIV para tres caudales de masa de aire diferentes, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

15 La Figura 26 muestra la velocidad angular del rotor obtenida a partir de las mediciones de presión y de las mediciones de PIV, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 27 muestra imágenes de partículas instantáneas obtenidas a través de PIV y campos de velocidad correspondientes, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

20 La Figura 28 muestra la energía cinética transferida desde el aire y la energía cinética de rotación del rotor para un flujo libre de partículas, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 29 muestra la energía cinética transferida por el aire y la energía cinética de rotación del rotor para el flujo de partículas, en un ejemplo para ilustrar realizaciones de la presente invención.

La Figura 30 muestra un medio objetivo rotatorio accionado por un fluido portador en un ejemplo que ilustra realizaciones de la presente invención.

25 Los dibujos son solo esquemáticos y no son limitantes. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede exagerarse y no dibujarse a escala con fines ilustrativos.

Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no deberá interpretarse como una limitación del ámbito de aplicación.

30 En los diferentes dibujos, los mismos signos de referencia se refieren a elementos iguales o análogos.

Descripción detallada de las realizaciones ilustrativas

35 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no se limita a los mismos sino únicamente por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solo esquemáticos y no son limitantes. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede exagerarse y no dibujarse a escala con fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales a la práctica de la invención.

40 Asimismo, los términos primero, segundo y similares en la descripción y en las reivindicaciones, se utilizan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir una secuencia, ya sea temporalmente, espacialmente, en la clasificación o de cualquier otra manera. Debe entenderse que los términos usados de este modo son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en el presente documento pueden funcionar en otras secuencias distintas a las descritas o ilustradas en el presente documento.

50 Es más, los términos superior, inferior y similares en la descripción y las reivindicaciones se usan con fines descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Debe entenderse que los términos usados de este modo son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en el presente documento pueden funcionar en otras orientaciones distintas a las descritas o ilustradas en el presente documento.

55 Cabe señalar que la expresión "que comprende", utilizada en las reivindicaciones, no debe interpretarse como restringida a los medios enumerados a continuación; no excluye otros elementos o etapas. Por lo tanto, debe interpretarse como que especifica la presencia de las características indicadas, elementos integrantes, etapas o componentes a los que se hace referencia, pero no excluye la presencia o adición de una o más características adicionales, elementos integrantes, etapas o componentes, o grupos de los mismos. Por lo tanto, el alcance de la expresión "un dispositivo que comprende los medios A y B" no debe limitarse a los dispositivos que consisten únicamente en los componentes A y B. Significa que, con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

60 La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a "una realización" o "la realización" significa que un aspecto, estructura o característica particular descrita en relación con la realización se incluye en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, la presencia de las expresiones "en una realización" o "en la realización" en diferentes lugares a lo largo de toda esta memoria descriptiva, no tienen por qué referirse todas necesariamente a la misma realización, pero pueden. Asimismo, las características particulares, las estructuras o características pueden combinarse de cualquier manera adecuada, como sería evidente para un experto en la materia a partir de esta

divulgación, en una o más realizaciones.

De manera similar, debería apreciarse que en la descripción de realizaciones ilustrativas de la invención, diferentes características de la invención a veces se agrupan en una única realización, figura o descripción de la misma con el fin de simplificar la divulgación y ayudar en la comprensión de uno o más de los diferentes aspectos inventivos. Este método de divulgación, sin embargo, no debe interpretarse como un reflejo de la intención de que la invención reivindicada requiera más características que las que se mencionan expresamente en cada reivindicación. En su lugar, tal y como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos se encuentran en menos de todas las características de una única realización divulgada anteriormente. Por lo tanto, las reivindicaciones que siguen a esta descripción detallada se incorporan expresamente a esta descripción detallada, con cada reivindicación por sí misma como una realización separada de esta invención.

Asimismo, mientras que algunas realizaciones descritas en el presente documento incluyen algunas pero no otras características incluidas en otras realizaciones, las combinaciones de características de diferentes realizaciones están destinadas a estar dentro del alcance de la invención y forman diferentes realizaciones, como entenderán los expertos en la técnica. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, cualquiera de las realizaciones reivindicadas puede usarse en cualquier combinación.

En la descripción proporcionada en el presente documento, se exponen numerosos detalles específicos. Sin embargo, se debe entender que las realizaciones de la invención se pueden poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, métodos bien conocidos, estructuras y técnicas no se han mostrado en detalle para no oscurecer la comprensión de esta descripción.

Cuando en las realizaciones de la presente invención se hace referencia a "bajo presión", se hace referencia a la aplicación de un gradiente de presión durante el funcionamiento de un dispositivo o aplicación de un método, tal como para inyectar con fuerza un fluido desde una fuente, por ejemplo, una entrada de fluido, a un objetivo, por ejemplo, una cámara. Por lo tanto, la referencia a una entrada de fluido para inyectar un fluido portador bajo presión en una cámara puede significar una entrada de fluido adecuada para llevar el fluido portador a la cámara cuando se aplica una presión sustancialmente más alta al fluido en la entrada de fluido, por ejemplo, cerca de un extremo de recepción de fluido de la entrada de fluido, que se establece en la cámara, por ejemplo, cerca de una salida de fluido de la entrada de fluido.

Cuando en las realizaciones de la presente invención se hace referencia a "sustancialmente rotacionalmente simétrico", o incluso a "rotacionalmente simétrico", esto puede referirse a una simetría rotacional en la medida en que se ignore cualquier asimetría debida a una entrada de fluido en la pared circunferencial y/o en la medida en que se ignoren desviaciones triviales de la simetría rotacional que no afecten significativamente la función y/o el funcionamiento del dispositivo. Por lo tanto, un dispositivo que carece de una simetría rotacional literal no debe considerarse que cae fuera del alcance previsto si la desviación de la simetría rotacional es simplemente trivial.

Cuando en las realizaciones de la presente invención se hace referencia a tangencial, acimutal, radial y/o axial, estos pueden interpretarse en términos de un sistema de coordenadas cilíndrico o sistema de referencia direccional cilíndrico en el que la orientación axial se identifica con el eje de simetría de la cámara, como se indica más adelante en el presente documento, en un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo para poner un medio objetivo en contacto con un fluido portador. El dispositivo comprende una cámara que comprende una pared circunferencial, una pared inferior y una pared superior, configurado de tal manera que la cámara forma un recinto para contener el medio objetivo mientras entra en contacto con el fluido portador en la operación del dispositivo. La cámara es sustancialmente simétrica rotacionalmente con respecto a un eje de simetría. La cámara está adaptada para permanecer mecánicamente estática durante el funcionamiento del dispositivo. El dispositivo comprende al menos una entrada de fluido para inyectar el fluido portador bajo presión en la cámara. La al menos una entrada de fluido está adaptada para inyectar el fluido portador en la cámara en una dirección sustancialmente tangencial con respecto a una superficie interior de la pared circunferencial. El dispositivo también comprende un distribuidor de fluido dispuesto en la cámara, en la que el distribuidor de fluido está adaptado para permitir que el fluido portador inyectado pase a través del distribuidor en una dirección sustancialmente radial hacia el interior con respecto al eje de simetría. El distribuidor es sustancialmente simétrico rotacionalmente con respecto al eje de simetría. El distribuidor está adaptado además para rotar alrededor del eje de simetría. Esta rotación es impulsada, durante el funcionamiento del dispositivo, por una transferencia de momento entre el fluido portador inyectado y el distribuidor.

Con referencia a las Figuras 1 a la Figura 9, se muestra un dispositivo ilustrativo 1 de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Este dispositivo 1 es adecuado para poner un medio objetivo en contacto con un fluido portador.

Ventajosamente, el dispositivo puede operarse, por ejemplo, puede ser adecuado para su funcionamiento, velocidades acimutales máximas de 10 m/s y superiores, por ejemplo, en el intervalo de 10 m/s y 100 m/s, y posiblemente incluso más altas, pueden lograrse para un caudal de masa de fluido portador relativamente bajo en el intervalo de 8 g/s a 30 g/s.

- 5 El dispositivo 1 comprende una cámara 2 que comprende una pared circunferencial 3, una pared inferior 4 y una pared superior 5, configuradas de tal manera que la cámara 2 forma un recinto para contener el medio objetivo mientras entra en contacto con el fluido portador durante el funcionamiento del dispositivo.
- La cámara 2 es sustancialmente simétrica rotacionalmente con respecto a un eje de simetría A. Por ejemplo, la cámara 2 puede ser generalmente de forma circular y/o cilíndrica.
- 10 La cámara 2 está adaptada para permanecer mecánicamente estática durante el funcionamiento del dispositivo. La cámara puede denominarse estátor o parte de estátor. La cámara puede formar parte de, o puede estar unida mecánicamente de forma estática a, una carcasa para ser soportada de manera estable, por ejemplo, en el suelo, por ejemplo, permanecer en reposo con respecto a un marco de referencia vinculado a un punto fijo y una orientación fija con respecto a la superficie de la Tierra, durante el funcionamiento del dispositivo.
- 15 La cámara 2 puede ser, en particular, inadecuada para rotar con respecto a un marco de referencia estático externo durante el funcionamiento normal del dispositivo.
- El dispositivo comprende al menos una entrada de fluido 6 para inyectar el fluido portador bajo presión en la cámara, por ejemplo, bajo una diferencia de presión, por ejemplo, para inyectar el fluido portador cuando se aplica una diferencia de presión entre la cámara y la al menos una entrada de fluido durante el funcionamiento del dispositivo.
- 20 La al menos una entrada de fluido 6 puede formar una abertura en la pared circunferencial 3 de la cámara 2. Sin embargo, las realizaciones de la presente invención no se limitan necesariamente a las mismas, por ejemplo, la al menos una entrada de fluido 6 puede formar una abertura en la pared inferior 4, en la pared superior 5, o cualquier combinación de la pared circunferencial 3, la pared inferior 4 y/o la pared superior 5.
- 25 La al menos una entrada de fluido 6 está adaptada para inyectar el fluido portador en la cámara en una dirección sustancialmente tangencial con respecto a una superficie interior de la pared circunferencial 3.
- 30 El dispositivo también comprende un distribuidor de fluido 7 dispuesto en la cámara 2, en el que el distribuidor de fluido 7 está adaptado para permitir que el fluido portador inyectado pase a través del distribuidor en una dirección sustancialmente radial hacia el interior con respecto al eje de simetría A. El distribuidor de fluido 7 es sustancialmente simétrico rotacionalmente con respecto al eje de simetría A.
- 35 El distribuidor de fluido 7 está adaptado además para rotar alrededor del eje de simetría A. Esta rotación es impulsada por una transferencia de momento entre el fluido portador inyectado y el distribuidor durante el funcionamiento del dispositivo, por ejemplo, mientras que el distribuidor desvía el fluido portador inyectado en una dirección de flujo correspondiente a la dirección sustancialmente radial hacia el interior.
- 40 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor de fluido 7 puede adaptarse para, por ejemplo, configurada para, rotar alrededor del eje de simetría debido a una transferencia de momento del fluido portador al distribuidor causada por tensiones de cizallamiento.
- 45 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la cámara puede formar un lecho fluidizado para fluidizar el medio objetivo que comprende una fase sólida en el fluido portador, por ejemplo, en el que el fluido portador puede comprender un líquido y/o un gas. Por ejemplo, durante el funcionamiento del dispositivo, un lecho fluidizado puede estar soportado por el distribuidor de fluido rotatorio 7.
- 50 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la cámara puede estar adaptada, por ejemplo, configurada, para poner en contacto el medio objetivo que comprende un líquido con el fluido portador, por ejemplo, en la que el fluido portador puede comprender un líquido y/o un gas. Por ejemplo, durante el funcionamiento del dispositivo, una capa de líquido o una capa de sólido-líquido puede estar soportada por el distribuidor de fluido rotatorio 7.
- 55 Por ejemplo, el medio objetivo puede comprender un primer líquido, y el fluido portador puede comprender un segundo líquido, en el que el primer líquido y el segundo líquido son mutuamente inmiscibles.
- 60 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor de fluido 7 puede estar adaptado para rotar a una velocidad angular en el intervalo de 100 a 200 rad/s, por ejemplo, en el intervalo de 200 a 1500 rad/s, por ejemplo, en el intervalo de 250 a 1000 rad/s.
- 65 Con referencia a la Figura 3, un dispositivo de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede comprender una alimentación de entrada 8 para alimentar el medio objetivo en la cámara 2, por ejemplo, antes y/o durante el funcionamiento del dispositivo. Como alternativa, la cámara puede configurarse de tal manera que pueda abrirse antes de la operación del dispositivo para introducir el medio objetivo en la cámara. Por ejemplo, una tapa superior 9 puede ser (reversiblemente) extraíble para proporcionar acceso a la cámara 2 antes de la operación del

dispositivo.

5 Un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, puede comprender al menos una aleta 10 en el distribuidor 7, en donde la al menos una aleta se extiende desde el distribuidor 7 en una dirección radial sustancialmente hacia fuera con respecto al eje de simetría. La al menos una aleta 10 puede estar adaptada para accionar la rotación del distribuidor 7 alrededor del eje de simetría A mediante una transferencia de momento entre el fluido portador inyectado y la al menos una aleta 10, mientras que también, por ejemplo, simultáneamente, desvíe el fluido portador inyectado en una dirección de flujo correspondiente a la dirección sustancialmente radial hacia el interior.

10 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la al menos una aleta 10 puede ser curvada, teniendo una porción de extremo libre distal del distribuidor 7 que se desplaza angularmente con respecto a una porción de extremo fija (de la aleta) proximal al distribuidor 7, en la que el desplazamiento angular es un desplazamiento angular alrededor del eje de simetría contra la dirección de flujo en el que el fluido portador se inyecta en la cámara 2 por la al menos una entrada de fluido durante el funcionamiento del dispositivo.

15 Por ejemplo, la porción de extremo libre de la aleta 10 puede estar separada de la pared circunferencial 3 de la cámara 2 por una distancia de menos de 10 mm, por ejemplo, menor que 5 mm, por ejemplo, en el intervalo de 0 mm a 3 mm, por ejemplo, 1 mm.

20 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la al menos una aleta 10 puede comprender al menos tres aletas distribuidas uniformemente alrededor de la circunferencia del distribuidor 7.

25 Con referencia a la Figura 7, en un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor 7 puede comprender un cilindro 16 que tiene perforaciones proporcionadas en el mismo para permitir que el fluido portador inyectado pase a través del distribuidor de fluido 7 en la dirección sustancialmente radial hacia el interior. Por ejemplo, las perforaciones pueden comprender hendiduras. Por ejemplo, las hendiduras pueden disponerse para formar patrones de hendiduras en forma de H, por ejemplo, para desplazar las hendiduras de una manera similar a una estructura de mampostería de enlace roto. Esto puede proporcionar ventajosamente una buena área abierta al mismo tiempo que proporciona una buena integridad estructural al cilindro, por ejemplo, particularmente para garantizar la integridad cuando rota a altas velocidades.

35 Con referencia a la Figura 9, el distribuidor 7 puede comprender además perfiles de extremo 91, que se proporcionan en un extremo superior e inferior del cilindro y se extienden radialmente hacia el interior. Opcionalmente, estos perfiles pueden ser cónicos, por ejemplo, de tal manera que aumente el espesor en una dirección radialmente hacia el cilindro 16 y/o de tal manera que una distancia entre ambos perfiles de extremo 91, medido en la dirección axial, disminuya hacia el cilindro 16. El cilindro y los perfiles de extremo superior e inferior pueden formar ventajosamente un soporte compacto para sostener un lecho fluidizado, capa líquida o capa líquido-sólida durante el funcionamiento del dispositivo, por ejemplo, reduciendo las posibles pérdidas por fricción por la diferencia de velocidad entre la cámara estática y el medio objetivo que rota conjuntamente con el cilindro.

40 En otro aspecto, la presente invención también puede referirse a una parte de rotor para su uso en un dispositivo de acuerdo con realizaciones del primer aspecto de la presente invención. Esta parte de rotor puede comprender el distribuidor de fluido 7, por ejemplo, el cilindro 16, por ejemplo, el cilindro perforado. La parte de rotor también puede comprender la estructura de unión 15 para unir mecánicamente el árbol rotatorio 12 al distribuidor de fluido 7, por ejemplo, al cilindro 16. La estructura de unión 15 puede comprender la placa 19. Esta placa puede estar ranurada para formar un sello de fluido de laberinto 71 junto con una placa inferior, por ejemplo, como se muestra en la Figura 5. La parte de rotor también puede comprender la al menos una aleta 10.

45 La parte de rotor puede estar compuesta de un material polimérico, por ejemplo, un polímero transparente.

50 A modo de ejemplo, realizaciones sin pretender limitarse a las mismas, este material puede tener una densidad en el intervalo de 1180 a 1200 kg/m³, y/o una resistencia a la tracción en el intervalo de 49 a 50 MPa. Por ejemplo, la parte de rotor puede tener una masa en el intervalo de 1 g a 250 g, preferentemente, en el intervalo de 5 g a 100 g, por ejemplo, en el intervalo de 25 g a 50 g, por ejemplo, 38 g. Se pueden proporcionar perforaciones en el cilindro para obtener una fracción de área circunferencial abierta en el borde interior de, por ejemplo, 58 %. El cilindro puede tener un diámetro interior en el intervalo de, por ejemplo, 40 mm a 160 mm, por ejemplo, de 60 mm a 100 mm, por ejemplo, de 70 mm a 90 mm, por ejemplo, 80 mm. El cilindro puede tener un espesor en el intervalo de 0,5 mm a 10 mm, por ejemplo, en el intervalo de 1 mm a 5 mm, por ejemplo, 2 mm. Las aletas 10 pueden tener un espesor en el intervalo de 1 mm a 10 mm, por ejemplo, en el intervalo de 2 mm a 5 mm, por ejemplo, 3 mm.

55 Por ejemplo, las realizaciones de la presente invención no se limitan a las mismas, una parte de rotor puede imprimirse en 3D usando estereolitografía como una sola pieza (por ejemplo, una pieza reemplazable).

60 El cilindro perforado 16 puede tener un área abierta en el intervalo de 40 % a 99 %, por ejemplo, en el intervalo de 50 % a 90 %. Por ejemplo, 'área abierta' puede referirse a la relación del área total de las perforaciones sobre el área total del cilindro cuando las perforaciones se consideraran ausentes.

5 El término 'perforaciones' no se refiere necesariamente a aberturas obtenidas por el acto de perforar, pero pueden referirse igualmente a aberturas similares obtenidas por otro método. Por ejemplo, una perforación puede formarse igualmente integralmente en el cilindro cuando se construye el cilindro, por ejemplo, mediante el uso de una técnica de impresión 3D para formar integralmente el cilindro, o para formar integralmente el distribuidor 7, por ejemplo, para formar integralmente la parte de rotor que comprende el distribuidor y, opcionalmente, al menos una aleta en el distribuidor.

10 El cilindro puede formar un lecho sólido toroidal, una capa líquida o un soporte de capa líquida-sólida durante el funcionamiento del dispositivo.

15 Con referencia a la Figura 4, en un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, al menos una parte de la pared inferior 4 puede estar formada por una placa inferior 11 que está dispuesta centralmente alrededor del eje de simetría A en un plano perpendicular al eje de simetría A y que está desacoplada mecánicamente del distribuidor 7 para permanecer mecánicamente estática cuando el distribuidor 7 rota alrededor del eje de simetría A.

20 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la placa inferior 11 puede ser simétrica rotacionalmente con respecto al eje de simetría A. La placa inferior puede ser cónica para extenderse hacia la pared superior 5 en una región central de la placa inferior y extenderse lejos de la pared superior en una región periférica de la placa inferior. En otras palabras, la placa inferior puede ser cónica para estar más cerca de la pared superior 5 en una región central de la placa inferior que en una región periférica de la placa inferior.

25 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor de fluido 7 puede soportarse mecánicamente para permitir que el distribuidor 7 gire alrededor del eje de simetría, por ejemplo, gire libremente para permitir que sea accionado por el fluido portador inyectado.

30 Con referencia a la Figura 5 y la Figura 6, un dispositivo de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede comprender un árbol rotatorio 12 para rotar alrededor del eje de simetría A, en el que el árbol rotatorio esté unido mecánicamente al distribuidor de fluido 7 para soportar mecánicamente el distribuidor 7 y permitir la rotación del distribuidor 7. Por ejemplo, el árbol rotatorio puede ser un árbol metálico, por ejemplo, un árbol de acero inoxidable, tal como compuesto de acero inoxidable SS316.

35 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el árbol rotatorio 12 puede comprender un rodamiento externo 13, por ejemplo, rodamientos de bolas, por ejemplo, al menos un rodamiento de baja fricción, en su superficie exterior para acoplarse a un alojamiento de la cámara, por ejemplo, para acoplar un mango 14 formado en un alojamiento de la cámara.

40 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el distribuidor puede comprender una estructura de unión 15 para unir mecánicamente el árbol rotatorio 12 al distribuidor de fluido 7, por ejemplo, al cilindro 16 que tiene perforaciones provistas en el mismo para permitir que el fluido portador inyectado pase a través del distribuidor en la dirección sustancialmente radial hacia el interior.

45 En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el árbol rotatorio 12 puede ser un árbol hueco, por ejemplo, un árbol metálico hueco, en el que el árbol rotatorio puede comprender un rodamiento interno 17, por ejemplo, rodamientos de bolas, por ejemplo, al menos un rodamiento de baja fricción, en su superficie interior para enganchar un husillo 18 que se proporciona coaxialmente dentro del árbol rotatorio. Este husillo 18 puede estar unido mecánicamente a la placa inferior 11.

50 El árbol puede estar compuesto de un material que tenga una densidad en el intervalo de 5000 a 15000 kg/m³, por ejemplo, aproximadamente 8000 kg/m³, y una resistencia a la tracción en el intervalo de 300 a 900 MPa, por ejemplo, aproximadamente 515 MPa, las realizaciones de la presente invención no están limitadas por tales valores ilustrativos.

55 El árbol puede tener una masa baja, por ejemplo, en el intervalo de 0 g a 500 g, por ejemplo, preferentemente en el intervalo de 25 g a 250 g, por ejemplo, en el intervalo de 40 g a 100 g, por ejemplo, aproximadamente 60 g.

En un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la estructura de unión 15 puede comprender una placa 19 que está orientada perpendicular al árbol. Esta placa puede estar ranurada para formar un sello de fluido laberíntico junto con la placa inferior, por ejemplo, como se muestra en la Figura 5.

60 Con referencia a, por ejemplo, la Figura 3, un dispositivo de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede comprender un escape 20, por ejemplo, una estructura de chimenea, para recoger el fluido portador de la cámara a través de una abertura en la pared superior, por ejemplo, en una región central de la pared superior. Por ejemplo, una salida de gas 21 puede conectarse al escape 20.

65 Haciendo referencia de nuevo a la Figura 1, en un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la al menos una entrada de fluido 6 puede comprender una boquilla que termina en la abertura en la pared

circunferencial, en donde esta boquilla tiene una primera sección de pared que se conecta de manera continua y tangencial a la superficie interior de la pared circunferencial y una segunda sección de pared que se conecta a la superficie interior en un ángulo agudo para enfocar un flujo del fluido portador inyectado acimutalmente a lo largo la superficie interior.

En un segundo aspecto, la presente invención también se refiere a un método para poner un medio objetivo en contacto con un fluido portador. El método comprende alimentar el medio objetivo en una cámara para contener el medio objetivo mientras entra en contacto con el fluido portador, por ejemplo, estando contenido el medio objetivo mientras entra en contacto con el fluido portador. La cámara es sustancialmente simétrica rotacionalmente con respecto a un eje de simetría y está adaptada para permanecer mecánicamente estática mientras se realiza el método.

El método comprende una etapa de inyectar el fluido portador bajo presión en la cámara, por ejemplo, a través de al menos una abertura en una pared circunferencial de la cámara, en la que esta inyección es en una dirección sustancialmente tangencial con respecto a una superficie interior de la pared circunferencial.

El método comprende accionar una rotación de un distribuidor de fluido en la cámara por el fluido portador inyectado, debido a una transferencia de momento entre el fluido portador inyectado y el distribuidor, en el que el fluido portador inyectado se desvía en una dirección de flujo correspondiente a una dirección sustancialmente radial hacia el interior con respecto al eje de simetría y pasa a través del distribuidor hacia el eje de simetría.

Características adicionales de un método de acuerdo con las realizaciones de la presente invención quedarán claras a partir de la descripción proporcionada anteriormente en el presente documento en relación con las realizaciones del primer aspecto de la presente invención. En particular, un método de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede comprender operar un dispositivo de acuerdo con las realizaciones del primer aspecto de la presente invención, por ejemplo, realizar una etapa para obtener una función de una característica de un dispositivo como se ha descrito anteriormente en el presente documento.

En un tercer aspecto, la presente invención también se refiere a un sistema que comprende un dispositivo de acuerdo con realizaciones del primer aspecto de la presente invención. Por ejemplo, La Figura 10 ilustra tal como un sistema ilustrativo 100. Un sistema de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede comprender una línea de suministro para el fluido portador, por ejemplo, un suministro de aire presurizado 101 conectado a un regulador de presión 102. El fluido portador puede proporcionarse, bajo presión controlada, al dispositivo 1 de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Por ejemplo, aire comprimido a 200-300 kPa, en el ejemplo presente, puede fluir a través de un medidor de flujo y una válvula de control antes de entrar en la cámara.

El sistema puede comprender un mecanismo alimentador para proporcionar, por ejemplo, un sólido al dispositivo 1. Por ejemplo, dicho mecanismo alimentador puede comprender un tornillo inyector 103 para extraer de manera controlable el medio objetivo de un recinto alimentador 104, por ejemplo, un alimentador gravimétrico controlado por presión, por ejemplo, conectado a un suministro de aire presurizado 105 con un regulador de presión 106. Por ejemplo, un alimentador gravimétrico puede suministrar partículas sólidas a un tornillo inyector de 10 mm de diámetro que transporta los sólidos a la cámara. Un recinto metálico hermético, conectado a aire presurizado, puede rodear el alimentador gravimétrico. Tal recinto metálico hermético puede permitir regular la presión en la parte superior del alimentador gravimétrico, por ejemplo, hasta un valor máximo de 300 kPa en este ejemplo.

Un escape del dispositivo 1, por ejemplo, la estructura de salida o chimenea del dispositivo 1, puede conectarse a una salida del sistema, por ejemplo, una salida de aire 107. Se puede proporcionar un filtro de bolsa 108 entre el escape del dispositivo 1 y la salida 107 para separar las partículas sólidas del aire de escape.

El sistema puede también comprender medios de control y medición, como es conocido en la técnica, tales como medidores de flujo 109, indicadores de temperatura TI (por sus siglas del inglés), indicadores de presión PI (por sus siglas del inglés), indicadores de flujo FI (por sus siglas del inglés) y transmisores de flujo FT (por sus siglas del inglés).

En un ejemplo que ilustra realizaciones de la presente invención, la Figura 8 muestra una comparación de la velocidad acimutal de un lecho fluidizado que puede lograrse mediante un dispositivo y método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, representado por los marcadores rellenos de elipse 81, con una tecnología de fluidización gas-sólido centrífuga de la técnica anterior, representada por los marcadores huecos de elipse 82. Los marcadores cuadrados corresponden a los resultados de "Solids velocity fields in a cold-flow gas-solid vortex reactor" de Kovacevic *et al.*, Chem. Eng. Sci. 123, págs. 220-230, y los marcadores triangulares representan otros resultados obtenidos por los autores. Todos los marcadores son representativos del borde exterior.

La referencia de la técnica anterior en este ejemplo corresponde a un reactor de vórtice gas-sólido, como es conocido en la técnica, por ejemplo, como se divulga en "Gas-solid fluidized beds in vortex chambers" por De Wilde, Chem. Eng. Process. Process Intensif. 85, págs. 256-290.

El método de referencia de la técnica anterior puede alcanzar velocidades acimutales de lecho sólido de menos de 10 m/s mientras que requiere un caudal de masa de aire relativamente alto como se indica por los marcadores huecos

de elipse 82. El enfoque de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede realizarse como se indica por los marcadores rellenos de elipse 81. Por ejemplo, la aceleración centrífuga máxima experimentada por el lecho con la tecnología centrífuga de la técnica anterior fue, por ejemplo, 150 veces la aceleración gravitacional. En contraste, el enfoque de acuerdo con las realizaciones de la presente invención mostró sorprendentemente una aceleración centrífuga máxima equivalente a 5000 veces la gravedad terrestre. Asimismo, una reducción de aproximadamente el 50 % en el caudal de masa de gas puede ser suficiente, en el ejemplo presente, para alcanzar aceleraciones centrífugas comparables. Asimismo, no se requeriría ventajosamente ningún consumo de energía externo aparte de la energía cinética del aire entrante. Por el contrario, se pudo observar una reducción de aproximadamente el 50 % en la caída de presión para alcanzar aceleraciones centrífugas comparables.

Como un ejemplo de un dispositivo de acuerdo con la presente invención, se implementó un sistema como se ilustra en la Figura 10. Un alimentador gravimétrico, modelo KMLSFST20, comercializado por COPERION K-TRON, se usó para suministrar partículas sólidas a una barrena inyectora de 10 mm de diámetro que transporta los sólidos a la cámara del dispositivo. El recinto hermético del alimentador gravimétrico se conectó a un suministro de aire presurizado, hasta un máximo de 300 kPa. El aire comprimido a 200 a 300 kPa fluye a través de un medidor de flujo, modelo EL-FLOW®, comercializado por BRONKHORST, y una válvula de control, modelo RESEARCH CONTROL®, comercializado por BADGER METER, antes de entrar en la cámara. Un filtro de bolsa, modelo 6943, comercializado por FILTEX, separa las partículas sólidas del aire de escape en la salida del dispositivo.

En este ejemplo, el dispositivo comprende un cilindro perforado rotatorio, por ejemplo, como se ilustra en la Figura 7. El cilindro tiene un diámetro nominal de 80 mm. La cámara tiene una altura nominal de 15 mm.

Se usaron doce sensores de presión diferencial y tres absolutos (UNIK 5000) durante este experimento ilustrativo. Los sensores de presión diferencial tienen un intervalo de -20 a 20 kPa, dos sensores de presión absoluta tienen un intervalo de 80 a 120 kPa, mientras que el sensor de presión absoluta restante tiene un intervalo de 80 a 160 kPa. Todos los sensores de presión tienen una respuesta de frecuencia de 3,5 kHz y una precisión de escala completa de $\pm 0,04$ %. Una placa de adquisición de datos (DAP 840, comercializado por MICROSTAR LABORATORIES) con una frecuencia de 10 Hz fue usada.

Las ubicaciones de las tomas para la medición de presión se muestran en la Figura 11. El sensor de presión absoluta con el intervalo más grande se conectó a la toma en la pared exterior de la camisa a 70° en el sentido de las agujas del reloj comenzando desde la posición de las 12 en punto. Ese sensor absoluto se identifica como "Camisa p1" en la Figura 11. Tres sensores de presión diferencial identificados como Camisa p2, p3 y p4 se conectaron a tomas en las camisas de la pared exterior en ángulos acimutales de 130°, 190° y 250° en el sentido de las agujas del reloj a partir de la posición de las 12 en punto. Se conectaron cuatro sensores de presión diferencial a tomas ubicadas dentro de la cámara en un ángulo acimutal constante y en posiciones radiales entre 20 y 30 mm. Esos sensores de presión diferencial se identifican como Cámara p1, p2, p3 y p4 en la Figura 11. Por otra parte, cuatro sensores de presión diferencial, Escape p1, p2, p3 y p4 se conectaron a tomas en la pared del escape divergente. Por último, también se midió la presión diferencial en la pared circunferencial de la tapa superior y la ubicación identificada como Parte superior p2 en la Figura 11. La presión absoluta se midió en la Parte superior p1 ubicada en el centro de la tapa superior y en la línea de salida de gas. La ubicación de la última toma no se muestra en la Figura 11. Todos los sensores de presión diferencial tenían el sensor absoluto ubicado en la Camisa p1 como su referencia. Todos los sensores de presión se recalibraron diariamente durante este experimento ilustrativo.

Los experimentos se registraron con una cámara digital (GOPRO 3+) colocada debajo del dispositivo de acuerdo con las realizaciones de la presente invención. En la Figura 12 se muestra una ilustración de la vista desde la cámara digital. Cinco ventanillas circulares 121 hechas de vidrio de policarbonato transparente se distribuyen uniformemente debajo de la tapa inferior. Las posiciones radiales entre 30 mm y 43 mm son, por lo tanto, visualmente accesibles. En consecuencia, durante los experimentos se observaron alturas de lecho de hasta 10 mm junto con la pared circunferencial exterior del rotor. Obsérvese que el acceso visual a posiciones radiales de menos de 30 mm está restringido por la pared del extremo inferior estática como se muestra en la Figura 12. Un tacómetro digital (modelo 470, TESTO) se colocó horizontalmente con el haz apuntando a través de un orificio perforado a través de la cubierta estática del árbol de acero inoxidable. Adicionalmente, se acomodó una lectura conectada al medidor de flujo para que también se registrara durante los experimentos.

La imagen de vídeo de la cámara digital se mostró en una pantalla ubicada en una posición conveniente para monitorizarse continuamente durante los experimentos. Los datos observados y registrados simultáneamente en el vídeo fueron el caudal volumétrico de gas, la altura del lecho y la velocidad angular del rotor.

El caudal volumétrico de aire se controló a través de un controlador PID (modelo Compact V2, SIEMENS). Los parámetros del PID se establecieron de acuerdo con el método de auto oscilación. El caudal de masa de aire máximo fue de 17,5 g/s, que correspondía a una velocidad de entrada de aire de 82 m/s. En ausencia de sólidos, el rotor comenzó a rotar a un caudal de masa de aire de 7,0 g/s, que correspondía a una velocidad de entrada de aire de 41 m/s. Tanto los experimentos de flujo libre de partículas como los de flujo de partículas se restringieron a este intervalo de caudal de masa de aire. Sin embargo, los experimentos con caudales de masa de aire más altos se consideran factibles. Aunque la velocidad de rotación del rotor en el límite superior del intervalo de caudal de masa de aire

ES 2 985 744 T3

mencionado anteriormente superó los 1050 rad/s (10000 revoluciones por minuto), al final de este experimento ilustrativo no hubo signos visuales de deformación del rotor y/o desprendimiento de las aletas.

5 El caudal volumétrico de aire se ajustó a $5,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, que corresponde a un caudal de masa de aire de 12 g/s y una velocidad de entrada de gas de 62 m/s. En esas condiciones, la presión en la camisa de entrada de gas cambió de 114 a 115 kPa.

10 El alimentador gravimétrico entregó un lote de sólidos con una masa total de entre 50 y 100 g en el conjunto de entrada del tornillo inyector. Los sólidos consistían en madera de pino con una densidad de gránulos promedio de 500 kg m^{-3} y una dimensión máxima de 1,5 mm.

Se ajustó una presión entre 125 y 130 kPa en el recinto metálico que rodea el alimentador gravimétrico.

15 El tornillo inyector se accionó a velocidades de rotación de 50-100 rad/s. La presencia de un lecho sólido en la cámara se confirmó mediante inspección visual a través de las ventanillas de vidrio transparente.

20 El inyector de sólidos se apagó una vez que se alcanzó una cierta carga de sólidos. Posteriormente, la presión en el recinto que rodea el alimentador gravimétrico se ajustó a un valor inferior al de la cámara para impedir que los sólidos en el tornillo inyector llegaran a la cámara.

El caudal volumétrico de gas se ajustó a los valores indicados por el plan experimental. Posteriormente, se iniciaron simultáneamente el vídeo y el sistema de adquisición de datos de presión. La adquisición de datos y el registro de vídeo se detuvieron simultáneamente después de 60-120 s.

25 Este procedimiento se repitió con la misma carga de sólidos para cuatro caudales de masa de aire diferentes. Los experimentos se llevaron a cabo con diferentes cargas de sólidos que varían de 0,7 a 5,9 g, así como para un flujo libre de partículas.

30 A continuación, el sistema de alimentación de sólidos se despresurizó y el caudal volumétrico de gas se ajustó a $8,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. En esta condición, el rotor se detuvo y el caudal volumétrico de gas se incrementó a $5,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para arrastrar los sólidos que permanecieron en la cámara.

35 Por último, se midió la masa de sólidos retenidos en el filtro de bolsa y se abrió la cámara para inspeccionar la integridad mecánica del rotor.

40 Al final de cada experimento ilustrativo, el acceso visual a través de las ventanillas estaba ligeramente ocluido. Esto indicó que estaban presentes pequeñas cantidades de polvo en el hueco entre la pared del extremo estático y el rotor. Se sopó aire presurizado a través del orificio utilizado para medir la velocidad de rotación hasta que se despejó el acceso visual a la cámara.

45 Además de los experimentos mencionados anteriormente, se llevaron a cabo mediciones de velocimetría de imagen de partículas bidimensionales (2D PIV) para evaluar las velocidades acimutales del lecho sólido y si difieren de la velocidad acimutal del rotor. El dispositivo 2D PIV estaba equipado con una cámara CCD de 4 MP 131 (ImagerProX4M) y una cámara de 135 mJ, 15 Hz, Nd:YAG Litron láser. Se usó un conjunto de ópticos para dirigir la luz láser difusa 132, por ejemplo, luz láser difusa de doble pulso, hacia la ventanilla, y la cámara PIV se colocó perpendicular a la pared del extremo inferior para tomar imágenes de las partículas iluminadas del lecho sólido 134, por ejemplo, sostenida en la pared circunferencial exterior del rotor 135, tal como se muestra en la Figura 13. El número de píxeles por partícula sólida varió de 200 a 3000. Por lo tanto, una sección de prueba PIV 133 está definida por la configuración.

50 La Figura 14 muestra la velocidad de rotación del rotor tanto para el flujo libre de partículas como para el flujo de partículas con una carga de sólidos de 5,9 g. La velocidad de entrada de aire en el eje x secundario de la Figura 14 se calculó teniendo en cuenta que el área en sección transversal de la entrada de gas principal es un rectángulo de 15 mm de altura y 9 mm de ancho. La reducción del área de sección transversal en la conexión de la línea de alimentación de gas a la camisa aumenta la velocidad del aire fresco entrante. Además, hay un hueco de 1 mm entre las aspas y la pared exterior de la camisa que permite la circulación de aire alrededor de la camisa. Este hueco de 1 mm es un primer intento de encontrar un compromiso entre el momento transferido al rotor y la simetría acimutal de presión en la camisa.

60 La masa total del rotor es de 98 g; una carga de sólidos de 5,9 g representa un aumento del 6 % en masa con respecto al caso de flujo libre de partículas. Una inspección visual del lecho indicó que la altura del lecho fluctúa ligeramente alrededor de 9 mm. Para esa altura de lecho y una densidad de gránulos promedio de $450\text{-}500 \text{ kg m}^{-3}$, la fracción de vacío del lecho calculada varía de 0,56 a 0,61. La velocidad angular del rotor aumentó con el aumento del caudal de masa de aire siguiendo una curva de tipo sigmoideal tanto para el flujo libre de partículas como para el flujo de partículas. La velocidad angular del rotor para el flujo de partículas fue mayor que la del flujo libre de partículas. La diferencia en la velocidad angular entre el flujo de partículas y libre de partículas aumentó de 62 a 77 rad/s cuando el caudal de masa de aire aumentó de 9,1 a 11,5 g/s. Este intervalo de caudal de masa de aire correspondía a velocidades de

entrada de aire de 51 y 62 m/s. Para los dos últimos caudales de masa de aire, es decir, 14,5 y 17,5 g/s, que correspondían a las respectivas velocidades de entrada de aire de 72 y 82 m/s, la diferencia en la velocidad angular entre el flujo de partículas y libre de partículas se estabilizó alrededor de 82 rad/s.

5 Los resultados de PIV, que se analizan más adelante en el presente documento, mostraron que la diferencia promedio en la velocidad acimutal entre el rotor y el lecho sólido era del 3 %. Por lo tanto, las velocidades angulares en la Figura 14 son una primera indicación de las velocidades angulares del lecho sólido. Las velocidades acimutales del lecho sólido calculadas en los bordes interior y exterior, es decir, en posiciones radiales de 31 y 40 mm, se muestran en la Figura 15. Los cálculos tienen en cuenta la diferencia observada del 3 % entre el rotor y las velocidades acimutales del lecho. La aceleración centrífuga dependiente radial calculada en el centro del lecho sólido, es decir, en un radio de 35,5 mm, varía de 340 a 4710 veces la aceleración gravitacional de la Tierra.

15 La Figura 16 muestra la distribución de presión en la camisa de entrada de gas para un flujo libre de partículas y cinco casos de flujo de partículas. Para los últimos, las cargas de sólidos variaron de 0,7 a 5,9 g. Tres sensores de presión diferencial identificados como Camisa p2, p3 y p4 y colocados como se indica en la Figura 11, midieron la diferencia de presión con respecto a la presión absoluta medida en la Camisa p1.

Más adelante en el presente documento, 'diferencia de presión' se refiere al valor absoluto de la diferencia. El caso de flujo libre de partículas mostró las diferencias de presión más bajas en la camisa con valores por debajo de 0,5 kPa en el intervalo completo de caudal de masa de aire. A diferencia de los otros casos, para un flujo libre de partículas, la diferencia de presión en la Camisa p2 disminuyó al aumentar el caudal de masa de aire. Por otro lado, para un flujo libre de partículas, la diferencia de presión en la Camisa p3 y p4 aumentó con el aumento del caudal de masa de aire, exhibiendo este último la mayor diferencia. Para el flujo de partículas, la diferencia de presión en la Camisa p2 fue nominalmente constante dentro del intervalo de caudal de masa de aire de 9,1-11,5 g/s y luego aumentó para caudales de masa de aire más grandes. Para el flujo de partículas, la diferencia de presión en la Camisa p3 y p4 aumentó con el aumento del caudal de masa de aire en el intervalo de caudal de masa de aire completo y se acercaron entre sí con el aumento de la carga de sólidos. Para la carga de sólidos más alta informada en la Figura 16, las diferencias de presión en la Camisa p3 y p4 diferían en menos del 3 % en el intervalo completo de caudal de masa de aire. La presión absoluta medida en la Camisa p1 aumentó con el aumento del caudal de masa de aire de 108 kPa a 130 kPa. El porcentaje de diferencia de presión, calculado como la diferencia de presión máxima dividida por la presión absoluta en la Camisa p1 fue inferior al 1 % para todos los casos. La Figura 16 indica una influencia bastante menor de la carga de sólidos y el caudal de masa de aire en la simetría acimutal de la camisa. La única línea de alimentación de gas combinada con la conexión similar a un eyector y el hueco de 1 mm entre la camisa de entrada de gas y las aspas del rotor fueron suficientes para mantener la simetría acimutal de presión en la camisa de entrada de gas.

35 La Figura 17 muestra las diferencias de presión con respecto a la Camisa p1 en la Cámara p1 y la Cámara p4 (véase la Figura 11). La geometría detallada y la ubicación radial de las tomas de presión correspondientes se muestran en la Figura 18. La abertura de la toma de presión correspondiente a la Cámara p1 abarca las ubicaciones radiales 27,3 a 29,6 mm, es decir, su posición radial promedio es de 28,5 mm. Por el contrario, la abertura de la toma de presión correspondiente a la Cámara p4 abarca las ubicaciones radiales de 17,9 a 22,0 mm, es decir, su posición radial promedio es de 20,0 mm.

45 Para el caso de flujo libre de partículas, la diferencia de presión en la Cámara p1 se debe principalmente al contacto con el rotor. Para un flujo libre de partículas, la diferencia de presión en la Cámara p1 aumentó de 0,6 a 4,3 kPa con un caudal de masa de aire creciente de 9,1 a 17,5 g/s. Para el mismo intervalo de caudal de masa de aire y la carga de sólidos más alta, la diferencia de presión en la Cámara p1 aumentó en un factor de 2,1-1,4 en comparación con el flujo libre de partículas. En el intervalo de carga de sólidos completo y para el caudal de masa de aire más bajo, es decir, para 9,1 g/s, el flujo de partículas mostró desviaciones de menos del 20 % en la diferencia de presión entre la Cámara p1 y la Cámara p4. Para el flujo de partículas a medida que aumenta el caudal de masa de aire, la desviación en las diferencias de presión entre la Cámara p1 y la Cámara p4 aumentó entre un 25 y un 50 %. Adicionalmente, para un flujo libre de partículas, la desviación en la diferencia de presión entre la Cámara p1 y la Cámara p4 fue notablemente mayor, alcanzando un incremento del 75 %. Esto indica que la presión en las proximidades del rotor de la cámara era menos sensible a los cambios en el caudal de masa de aire en presencia de un lecho sólido.

55 La Figura 19 muestra las diferencias de presión con respecto a la Camisa p1 en las ubicaciones de Escape p1, p2, p3 y p4 (véase la Figura 11). Las ubicaciones de estas tomas de presión se muestran en la Figura 20. La toma de presión correspondiente al Escape p1 está ubicada en la garganta del escape, es decir, la posición axial con el área de sección transversal más baja. La garganta de escape está ubicada a 22,6 mm a partir de un plano horizontal en la parte inferior del lecho sólido. Las últimas tres tomas abarcan las ubicaciones axiales 22,6-45,1 mm y las ubicaciones radiales 10-18,8 mm. Para el caso de flujo libre de partículas, la diferencia de presión en el Escape p1 aumentó de 4,6 a 14,7 kPa al aumentar el caudal de masa de aire de 9,1 a 14,5 g/s, es decir, un incremento de 3,2 veces. Se observó un comportamiento análogo en el Escape p1 para todos los casos de flujo de partículas con un incremento promedio de 4,6 veces en la diferencia de presión. Por otro lado, tanto los casos de flujo libre de partículas como los de flujo de partículas no mostraron una caída de presión adicional en el Escape p1 con un caudal de masa de aire creciente de 14,5 a 17,5 g/s. Tanto los casos de flujo libre de partículas como los de flujo de partículas mostraron un incremento continuo en la diferencia de presión en el Escape p4 en el intervalo completo de caudal de masa de aire. Sin embargo,

la diferencia de presión entre el Escape p4 y el Escape p1 siempre fue inferior a 1 kPa en el intervalo de caudal de masa de aire de 9,1-14,5 g/s. Con un aumento adicional del caudal de masa de aire a 14,5 g/s, la diferencia de presión entre el Escape p4 y el Escape p1 fue de 5,7 kPa para el flujo libre de partículas y un valor promedio de 3,0 kPa para el flujo de partículas. Por el contrario, al aumentar el caudal de masa de aire de 14,5 a 17,5 g/s, el caso de flujo libre de partículas mostró una caída de presión adicional de 11,3 kPa, mientras que el valor promedio correspondiente para los casos de flujo de partículas fue de 9,5 kPa. Dos observaciones importantes de estos resultados son: 1) hay una caída de presión notable entre el Escape p1 y el Escape p4 para caudales de masa de aire superiores a 14,5 g/s y 2) la caída de presión entre el Escape p1 y el Escape p4 es significativamente mayor para el flujo libre de partículas.

La Figura 22 muestra las diferencias de presión con respecto a la Camisa p1 en las tomas ubicadas en la Pared exterior superior, Centro superior y en la Línea de salida. La presión absoluta se midió en el Centro superior y en la línea de salida, mientras que la presión diferencial con respecto a la Camisa p1 se midió en la Pared exterior superior. Las ubicaciones de estas tomas de presión se muestran en la Figura 21. La toma de Pared exterior superior está ubicada a 72,0 mm con respecto a un plano horizontal en la parte inferior del lecho sólido y en un radio de 32 mm. La presión en el Centro superior siempre fue menor que la presión en la Pared exterior superior y la línea de salida. La presión entre el Centro superior y la salida aumentó con el aumento del caudal de masa de aire, pero disminuyó con el aumento de la carga de sólidos. Esta región de baja presión es consistente con un flujo arremolinado en el escape divergente. Se espera que la región de baja presión se extienda alrededor del eje central de la salida divergente, pero también se desplace hacia arriba a través del escape lejos de la cámara debido a la presencia de la pared del extremo inferior perfilada.

La Figura 23 muestra el perfil de presión a través de la cámara para un flujo libre de partículas y con partículas con una carga de sólidos de 5,9 g, bajo los caudales de masa de aire más bajos y más altos (es decir, 9,1 y 17,5 g/s). Las presiones absolutas se calcularon deduciendo las respectivas caídas de presión de la presión absoluta en la Camisa p1. El flujo libre de partículas exhibió una mayor caída de presión total en comparación con el flujo de partículas en el intervalo completo de caudal de masa de aire experimental. Mientras que para el flujo libre de partículas, la caída de presión total aumentó de 4,7 a 25,6 kPa con el aumento del caudal de masa de aire de 9,1 a 17,5 g/s, la caída de presión total correspondiente para el flujo de partículas aumentó de 3,4 a 21,1 kPa.

Para el flujo libre de partículas, hubo un incremento en la presión absoluta en el escape divergente, aunque las ubicaciones donde se produjo ese incremento de presión variaron con el caudal de masa de aire. Para el caudal de masa de aire más bajo, es decir, 9,1 g/s, se detectó recuperación de presión entre el Escape p1 y el Escape p2. Sin embargo, la presión volvió a caer entre el Escape p2 y el Escape p3. Para el caudal de masa de aire más alto, es decir, 17,5 g/s, se detectó recuperación de presión entre las posiciones Escape p3 y Salida. Con respecto a la recuperación de presión en el escape divergente, el flujo de partículas mostró resultados comparables a los del flujo libre de partículas para el caudal de masa de aire más bajo. Para el caudal de masa de aire más alto, se observó una recuperación de presión entre el Escape p4 y la Salida. La recuperación de energía cinética en presión en el escape divergente apenas se detectó y fue insignificante para fines prácticos. La Figura 23 revela la contribución del escape divergente a la caída de presión total. Para el caudal de masa de aire más alto, la caída de presión entre el Escape p1 y la Salida fue del 43 % de la caída de presión total para el flujo libre de partículas y del 30 % para el flujo de partículas.

Por conveniencia del análisis del perfil de presión, el dispositivo de acuerdo con las realizaciones de la presente invención se puede dividir en tres secciones principales, en concreto, Camisa p1 a Cámara p1, Cámara p1 a Escape p1 y Escape p1 a Salida. La Figura 24 muestra la contribución de estas secciones a la caída de presión total para el flujo libre de partículas y el caso de flujo de partículas con la carga de sólidos más alta. Para caudales de masa de aire de hasta 15,1 g/s, la última sección, es decir, Escape p1 a Salida tuvo una contribución marginal de menos del 3 %. Se observó un resultado comparable tanto para el flujo libre de partículas como para el flujo de partículas. Al aumentar el caudal de masa de aire a 14,5 g/s, la última sección representó el 21 y el 8 % de la caída de presión total para el flujo libre de partículas y de partículas, respectivamente. Por último, al aumentar aún más el caudal de masa de aire a 17,5 g/s, la última sección representó el 43 y el 30 % de la caída de presión total para el flujo libre de partículas y de partículas, respectivamente. La sección central del dispositivo, es decir, Cámara p1 a escape-p1 representa la mayor contribución a la presión total tanto para el flujo libre de partículas como para el flujo de partículas. Obsérvese que para caudales de masa de aire de 9,1 a 11,5 g/s, la velocidad angular del rotor en la carga sólida más alta varió de 316 a 697 rad/s. Este intervalo de velocidad angular corresponde a velocidades acimutales de lecho sólido en el borde interior del lecho de 10-22 m/s. Desde un punto de vista hidrodinámico, este caudal de masa de aire relativamente bajo es suficiente para un funcionamiento estable del dispositivo. Obsérvese que esta observación solo se refiere a la caída de presión porque la estabilidad de la operación no se vio comprometida a caudales de masa de aire más altos.

La Figura 25 muestra las velocidades acimutales medidas a través de PIV para 3 caudales de masa de aire diferentes. Se llevaron a cabo tres experimentos repetidos de 100 pares de PIV cada uno para cada caudal de masa de aire. Las fluctuaciones del caudal de masa de aire durante las mediciones de PIV explican parcialmente la desviación estándar relativamente alta de las mediciones, especialmente en las proximidades del borde interior del lecho y en la pared circunferencial del rotor 251. En lugar de promediar las tres mediciones de PIV para cada caudal de masa de aire, se muestran todos los puntos de datos. Las mediciones de PIV se llevaron a cabo principalmente para evaluar si el lecho

sólido rota a la misma velocidad angular del rotor. Las líneas continuas en la Figura 25 representan las velocidades acimutales correspondientes a la velocidad acimutal promedio de la pared circunferencial del rotor. El lecho sólido rota a velocidades acimutales promedio un 3 % más bajas que las indicadas por las líneas grises. Se encontraron desviaciones promedio del 5 % para las dos posiciones radiales próximas a la pared circunferencial del rotor. Mientras que se encontraron desviaciones promedio de menos del 2 % en el centro del lecho sólido.

La Figura 26 muestra juntas la velocidad angular del rotor de las mediciones de presión y la de las mediciones de PIV 261. Existe una discrepancia significativa entre esas mediciones, especialmente a caudales de masa de aire superiores a 14 g/s. La explicación más probable para esa discrepancia es la presencia de polvo en el hueco entre la pared del extremo estática y el rotor. Sin embargo, independientemente del origen de esta discrepancia, esto no invalida el hecho de que el lecho sólido rota a velocidades acimutales promedio solo un 3 % más bajas que las del rotor.

Las imágenes instantáneas del lecho sólido revelaron falta de uniformidad en la dirección acimutal. Estas faltas de uniformidad no son evidentes a simple vista. La Figura 27 muestra imágenes de partículas instantáneas obtenidas a través de PIV, sin y con la falta de uniformidad, para un caudal de masa de aire de $13,1 \pm 0,34$ g/s. La imagen instantánea de partículas 271 corresponde al soporte de lecho de rotor que está completamente lleno de partículas; también se muestra un campo de velocidad instantánea 273 correspondiente. La imagen instantánea de partículas 272 corresponde al soporte de lecho de rotor que está parcialmente lleno de partículas; también se muestra un campo de velocidad instantánea 274 correspondiente. El campo de velocidad promedio 275 de 100 pares de PIV, para el soporte de lecho de rotor completamente lleno de partículas también se muestra.

El aire se modela como un gas ideal y se supone que la operación es isotérmica. En estas condiciones, el balance de energía establece que la diferencia de energía cinética más la diferencia de trabajo de fluido es igual a la energía cinética de rotación del rotor y el lecho fluido más la energía disipada debido a la fricción. Sin embargo, las suposiciones iniciales también implican que la relación presión-densidad permanece constante, por ejemplo, la energía cinética del aire es la única entrada de energía al sistema. La energía cinética de rotación del rotor se puede calcular a partir de la velocidad de rotación y el momento de inercia del rotor. El momento de inercia se calculó automáticamente en SOLIDWORKS® basándose en la geometría del conjunto de rotor mostrado en la Figura 4. El momento de inercia del rotor es $7,158 \cdot 10^{-5}$ kg m². La presencia del lecho sólido afecta el momento de inercia. Sin embargo, como primer cálculo, no se incluyó el efecto del lecho sólido sobre el momento de inercia del rotor. Obsérvese que la masa del rotor es de 98 g y la carga máxima de sólidos representó solo un aumento del 6 % en la masa con respecto al caso de flujo libre de partículas para este experimento ilustrativo particular.

La Figura 28 muestra la energía cinética transferida desde el aire y la energía cinética de rotación del rotor para un flujo libre de partículas. Adicionalmente, la Figura 28 también muestra la fracción de la energía cinética transferida desde el aire que se transforma en energía de rotación del rotor. Esa fracción aumenta con el aumento del caudal de masa de aire alcanzando un máximo para un caudal de masa de aire de 14,5 g/s, que corresponde a una velocidad de inyección de aire de 72 m/s. Para este máximo, la fracción de energía cinética transferida desde el aire que se convierte en energía cinética de rotación asciende al 87 %. La recuperación de energía más baja fue del 35 % y se produjo con el caudal de masa de aire más bajo. Al aumentar el caudal de masa de aire de 14,5 a 17,5 g/s, la recuperación de energía cayó de su valor máximo del 87 % al 77 %.

La Figura 29 muestra la energía cinética transferida por el aire y la energía cinética de rotación del rotor para el flujo de partículas con una carga de sólidos de 1,6 g. Cabe señalar que la energía cinética de rotación incluye el momento de inercia que se espera que cambie en presencia del lecho sólido. En consecuencia, la comparación entre la Figura 28 y la Figura 29 es solo cualitativa. Las tendencias observadas para el flujo libre de partículas aún se mantienen.

En este ejemplo, el dispositivo de fluidización centrífuga de acuerdo con las realizaciones de la presente invención se ha probado dentro de un amplio caudal de masa de aire e intervalos de carga de sólidos. La velocidad angular del rotor aumentó con el aumento del caudal de masa de aire siguiendo una curva de tipo sigmoïdal tanto para el flujo libre de partículas como para el flujo de partículas. La velocidad angular del rotor para este último fue mayor que la del flujo libre de partículas. La diferencia en la velocidad angular entre el flujo de partículas y libre de partículas aumentó de 62 a 77 rad/s cuando el caudal de masa de aire aumentó de 9,1 a 11,5 g/s. Este intervalo de caudal de masa de aire correspondía a velocidades de entrada de aire de 51 y 62 m/s. Para los dos últimos caudales de masa de aire, es decir, 14,5 y 17,5 g/s, que correspondían a las respectivas velocidades de entrada de aire de 72 y 82 m/s, la diferencia en la velocidad angular entre el flujo de partículas y libre de partículas se estabilizó alrededor de 82 rad/s. La PIV mostró que la diferencia promedio en las velocidades acimutales entre el rotor y el lecho sólido es del 3 %. Las velocidades acimutales calculadas del lecho sólido en los bordes interior y exterior varían de 10 a 40 m/s. La aceleración centrífuga dependiente radial en el centro del lecho sólido varía de 340 a 4710 veces la aceleración gravitacional terrestre.

El flujo libre de partículas exhibió una mayor caída de presión total en comparación con el flujo de partículas en el intervalo completo de caudal de masa de aire experimental. Para un flujo libre de partículas, la caída de presión total aumentó de 4,7 a 25,6 kPa al aumentar el caudal de masa de aire de 9,1 a 17,5 g/s. La caída de presión total correspondiente para el flujo de partículas aumentó de 3,4 a 21,1 kPa. La recuperación de energía cinética en presión

5 en el escape divergente se detectó apenas y siempre fue inferior a 2 kPa. Para caudales de masa de aire de hasta 15,1 g/s, el escape divergente mostró una contribución marginal de menos del 3 % a la caída de presión total. Se observó un resultado comparable tanto para el flujo libre de partículas como para el flujo de partículas. Al aumentar el caudal de masa de aire a 14,5 g/s, el escape divergente representó el 21 y el 8 % de la caída de presión total para el flujo libre de partículas y de partículas, respectivamente. Al aumentar aún más el caudal de masa de aire a 17,5 g/s, la última sección representó el 43 y el 30 % de la caída de presión total para el flujo libre de partículas y de partículas, respectivamente.

10 Un balance de energía muestra que el 35-87 % de la energía cinética transferida por el aire se convierte en energía cinética de rotación. Ese porcentaje aumenta con el aumento del caudal de masa de aire alcanzando un máximo para un caudal de masa de aire de 14,5 g/s, que corresponde a una velocidad de inyección de aire de 72 m/s.

15 En un ejemplo, que ilustra realizaciones de la presente invención, la Figura 30 muestra el medio objetivo rotatorio (Partículas de Al y Al_2O_3), impulsado por el fluido portador (aire) de caudal de masa de 11,8 g/s. El lecho consiste en cuatro capas de partículas esféricas de respectivamente: (i) Al_2O_3 de 1 mm de diámetro (10 g), (ii) Al de 0,7 mm de diámetro (10 g), (iii) Al de 0,5 mm de diámetro (10 g), y (iv) polvo de Al_2O_3 de 0,05 a 0,150 mm de diámetro (10 g). El lecho de una masa total de 40 g rotaba de manera constante y estable.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un dispositivo (1) para poner en contacto un medio objetivo en fase sólida o líquida con un fluido portador en un proceso que requiere un intercambio interfacial de momento, masa y/o energía entre el fluido portador y el medio objetivo, comprendiendo el dispositivo:
- una cámara (2) comprendiendo una pared circunferencial (3), una pared inferior (4) y una pared superior (5), formando dicha cámara un recinto para dicho medio objetivo mientras entra en contacto con dicho fluido portador durante el funcionamiento de dicho dispositivo, siendo dicha cámara sustancialmente simétrica rotacionalmente con respecto a un eje de simetría (A), estando dicha cámara adaptada para permanecer mecánicamente estática durante el funcionamiento de dicho dispositivo;
 - al menos una entrada de fluido (6) adaptada para inyectar dicho fluido portador a presión en dicha cámara, en donde una dirección de inyección del fluido portador es sustancialmente tangencial a una superficie interior de dicha pared circunferencial;
 - 15 - una salida para dejar que el fluido portador fluya fuera de la cámara, y
 - un distribuidor de fluido (7) dispuesto en dicha cámara y que comprende un cilindro perforado, estando adaptado dicho distribuidor de fluido para desviar dicho fluido portador inyectado para que pase a través de dicho cilindro perforado en una dirección sustancialmente radial hacia el interior con respecto a dicho eje de simetría, siendo dicho distribuidor de fluido sustancialmente simétrico rotacionalmente con respecto a dicho eje de simetría y adaptado para rotar alrededor de dicho eje de simetría,
- 20 **caracterizado por que** dicho distribuidor de fluido comprende al menos una aleta (10) que se extiende desde dicho distribuidor de fluido en una dirección sustancialmente radial hacia fuera con respecto a dicho eje de simetría (A), estando la al menos una aleta adaptada para accionar una rotación de dicho distribuidor alrededor de dicho eje de simetría (A) mediante una transferencia de momento entre dicho fluido portador inyectado y dicha al menos una aleta mientras se redirige el fluido portador inyectado para que pase en dicha dirección sustancialmente radial hacia el interior a través de las perforaciones de dicho cilindro perforado.
- 25 2. El dispositivo de la reivindicación 1, estando adaptado dicho dispositivo para formar un lecho rotatorio de dicho medio objetivo y dicho fluido portador tras la rotación de dicho distribuidor de fluido (7) alrededor de dicho eje de simetría (A), en donde el lecho rotatorio se forma sobre una superficie interior del cilindro perforado.
- 30 3. El dispositivo de la reivindicación 1 o 2, en donde dicha al menos una aleta (10) está curvada, teniendo una porción de extremo libre distal a dicho distribuidor (7) y desplazada angularmente con respecto a una porción de extremo fija proximal a dicho distribuidor, siendo dicho desplazamiento angular un desplazamiento angular alrededor de dicho eje de simetría (A) contra la dirección de flujo en la que dicho fluido portador se inyecta en dicha cámara por dicha al menos una entrada de fluido (6) durante el funcionamiento de dicho dispositivo.
- 35 4. El dispositivo de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha al menos una aleta (10) comprende al menos tres aletas distribuidas uniformemente alrededor de la circunferencia de dicho distribuidor (7).
- 40 5. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos una parte de dicha pared inferior (4) incluye una placa inferior (11) que está dispuesta centralmente alrededor de dicho eje de simetría (A) en un plano perpendicular a dicho eje de simetría y que está desacoplada mecánicamente de dicho distribuidor de fluido (7) para permanecer mecánicamente estática cuando dicho distribuidor de fluido rota alrededor de dicho eje de simetría.
- 45 6. El dispositivo de la reivindicación 5, en donde dicha placa inferior (11) es simétrica rotacionalmente con respecto a dicho eje de simetría (A) y está ahusada tal como para extenderse hacia la pared superior (5) en una región central de dicha placa inferior y alejándose de dicha pared superior (5) en una región periférica de dicha placa inferior.
- 50 7. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además un árbol rotatorio (12) para rotar alrededor de dicho eje de simetría (A), estando dicho árbol rotatorio unido mecánicamente a dicho distribuidor de fluido (7) para montar de manera rotatoria dicho distribuidor de fluido en dicha cámara.
- 55 8. El dispositivo de la reivindicación 7, en donde dicho árbol rotatorio (12) comprende un rodamiento externo (13) en su superficie exterior, configurado para acoplarse a un mango (14) correspondiente formado en un alojamiento de dicha cámara.
- 60 9. El dispositivo de la reivindicación 7 u 8, en donde dicho distribuidor de fluido comprende además una estructura de unión (15) para unir mecánicamente dicho árbol rotatorio (12) a dicho distribuidor de fluido (7).
- 65 10. El dispositivo de la reivindicación 9, en la medida en que también depende de la reivindicación 4, en donde dicho árbol rotatorio (12) es un árbol hueco y comprende un rodamiento interno (17) en su superficie interior, configurado para acoplarse a un husillo (18) que se proporciona coaxialmente dentro de dicho árbol rotatorio, estando dicho husillo unido mecánicamente a dicha placa inferior (11).

11. El dispositivo de la reivindicación 10, en donde dicha estructura de unión (15) comprende una placa (19) que está orientada perpendicular a dicho árbol (12), estando dicha placa ranurada tal como para formar un sello de fluido laberíntico (71) junto con dicha placa inferior (11).

5 12. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha al menos una entrada de fluido (6) comprende una boquilla que termina en una abertura en dicha pared circunferencial (3), teniendo dicha boquilla una primera sección de pared que se conecta de manera continua y tangencial a dicha superficie interior de dicha pared circunferencial (3) y una segunda sección de pared que se conecta a dicha superficie interior de dicha pared circunferencial (3) en un ángulo agudo tal como para enfocar un flujo de dicho fluido portador inyectado acimutalmente a lo largo de dicha superficie interior de dicha pared circunferencial.

10 13. El dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la cámara (2) es una cámara cilíndrica con una relación de altura a diámetro de cinco como máximo.

15 14. Un sistema que comprende el dispositivo (1) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores y un regulador de presión (102) conectable a un suministro (101) de aire presurizado como el fluido portador.

20 15. Un método para poner un medio objetivo en contacto con un fluido portador en un proceso que requiere un intercambio interfacial de momento, masa y/o energía entre el fluido portador y el medio objetivo, comprendiendo el método:

- 25 - alimentar dicho medio objetivo en una cámara (2) adaptada para contener dicho medio objetivo mientras entra en contacto con dicho fluido portador, siendo dicha cámara sustancialmente simétrica rotacionalmente con respecto a un eje de simetría (A) y adaptada para permanecer mecánicamente estática mientras se realiza dicho método;
- inyectar dicho fluido portador a presión en dicha cámara, siendo dicha inyección sustancialmente tangencial a una superficie interior de una pared circunferencial (3) de la cámara;
- hacer pasar el fluido portador inyectado en una dirección sustancialmente radial hacia el interior a través de un cilindro perforado de un distribuidor de fluido (7) montado de manera rotatoria en dicha cámara (2);
- 30 - dejar que dicho fluido portador fluya fuera de dicha cámara;

caracterizado por

35 alimentar el medio objetivo en una región que se extiende desde una superficie interior del cilindro perforado en dicha dirección radial hacia el interior, y desviar el fluido portador inyectado en al menos una aleta (10) que se extiende desde dicho distribuidor de fluido en una dirección sustancialmente radial hacia fuera, impulsando de ese modo una rotación de dicho distribuidor alrededor de dicho eje de simetría (A) mediante una transferencia de momento entre dicho fluido portador inyectado y dicha al menos una aleta, en donde dicha al menos una aleta desvía y redirige el fluido portador inyectado para que pase en dicha dirección sustancialmente radial hacia el interior a través de las perforaciones de dicho cilindro perforado.

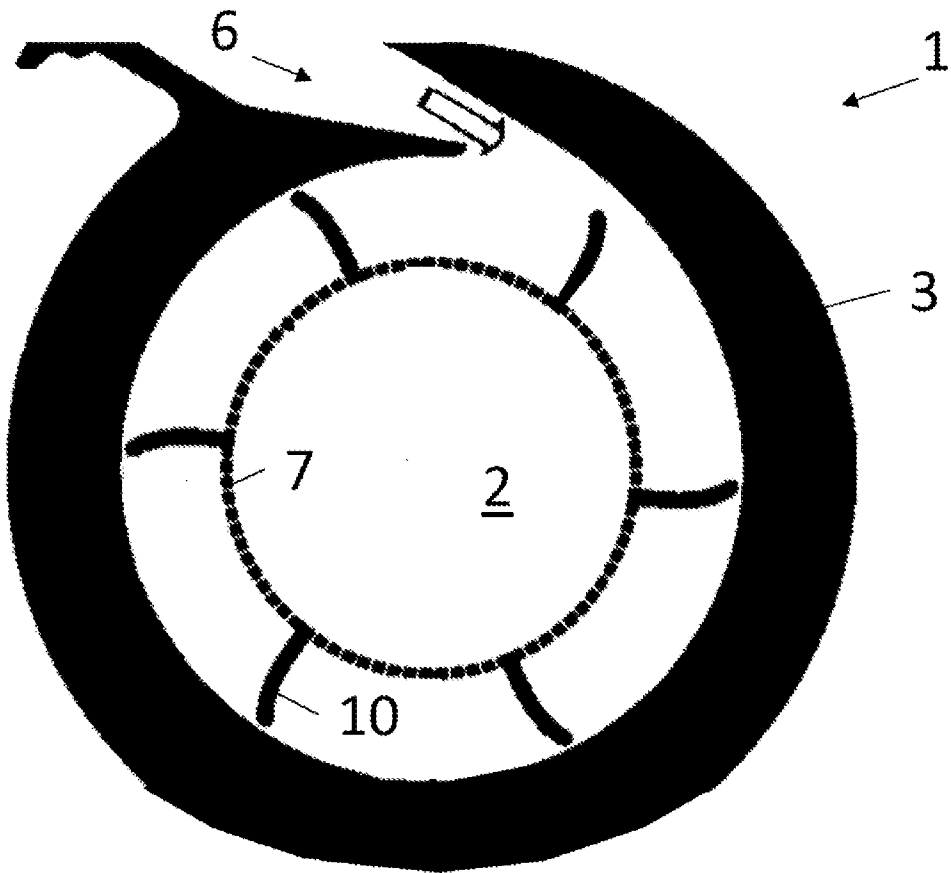


FIG 1

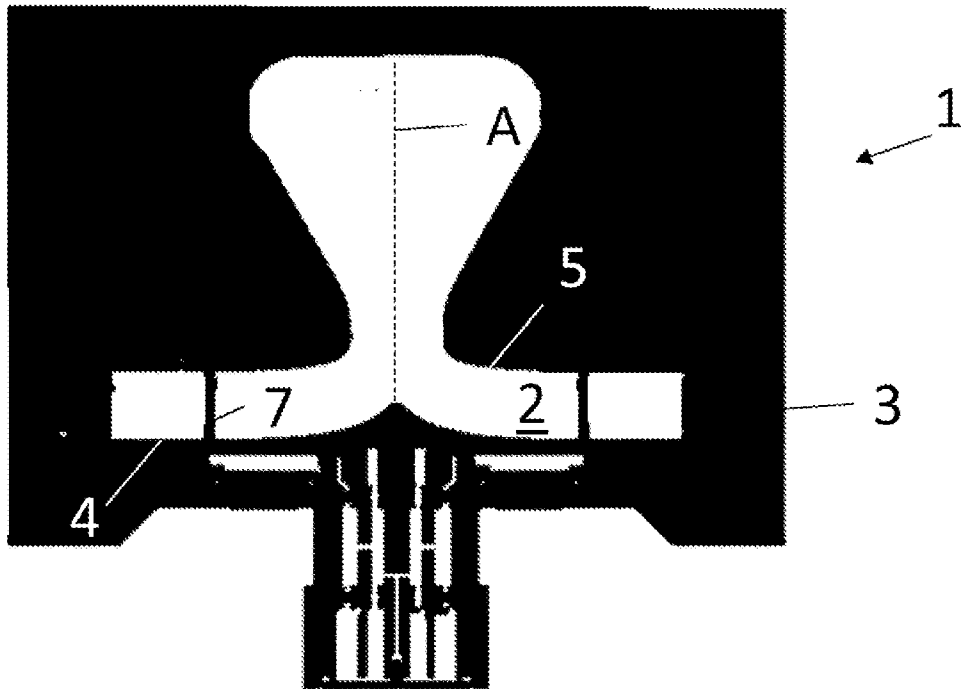


FIG 2

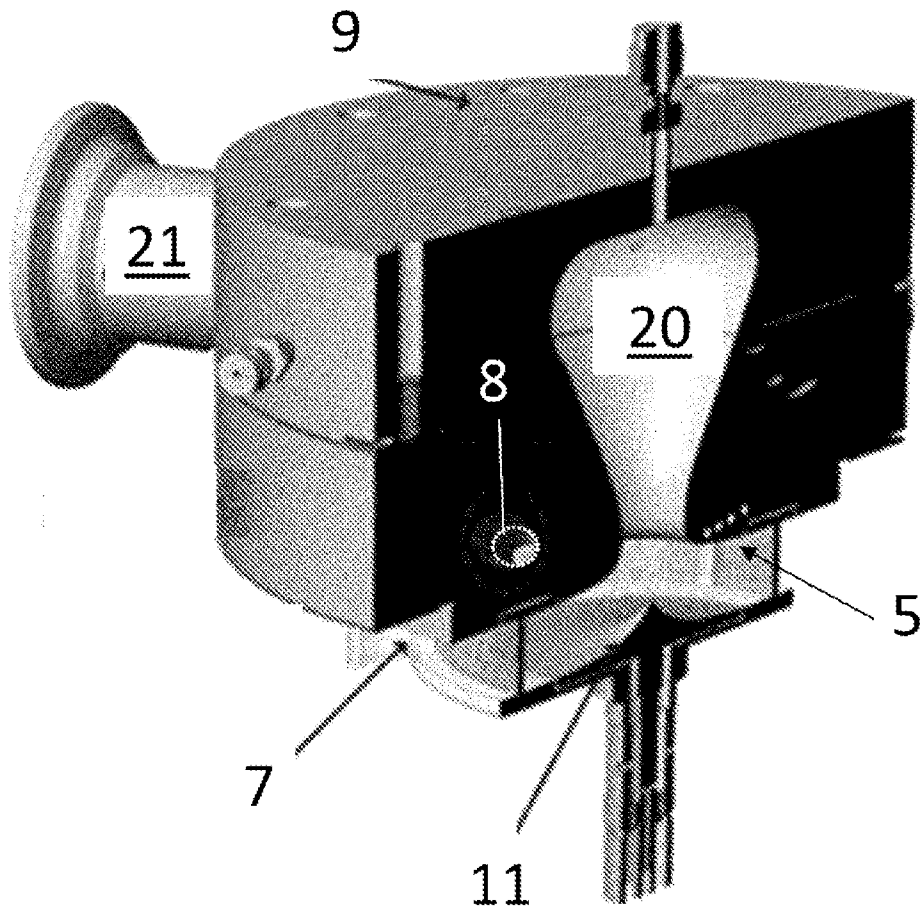


FIG 3

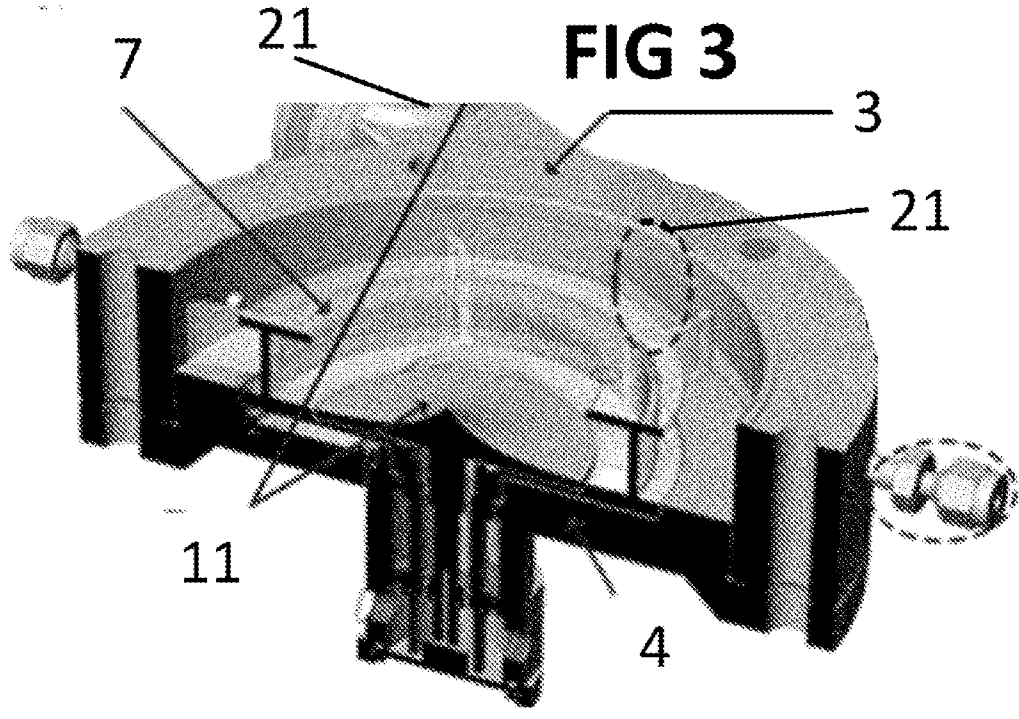


FIG 4

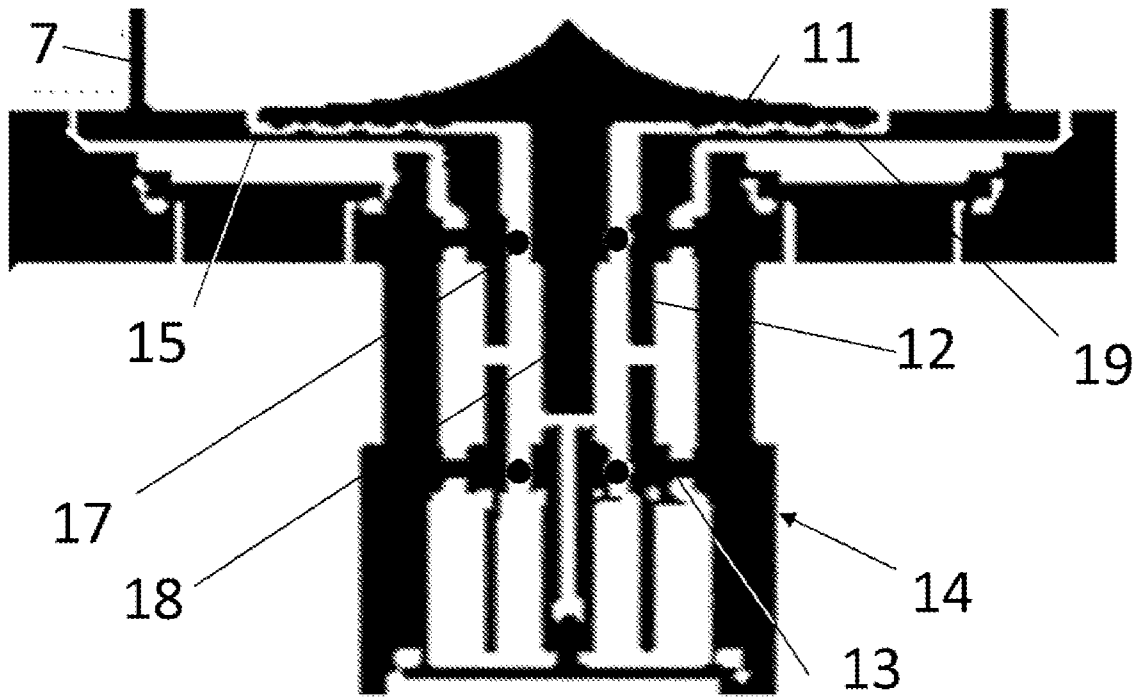


FIG 5

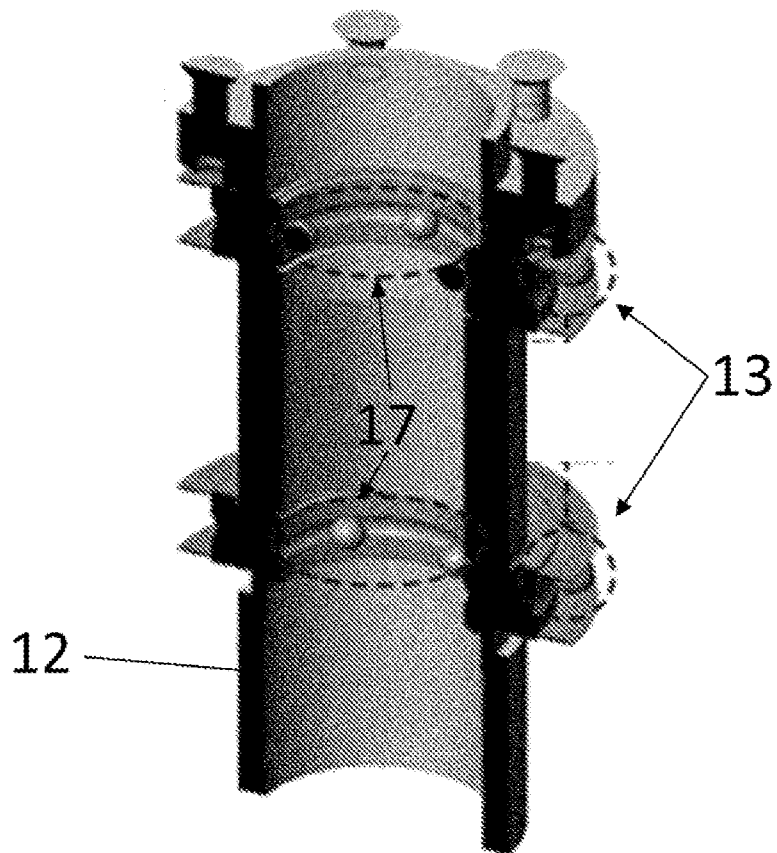


FIG 6

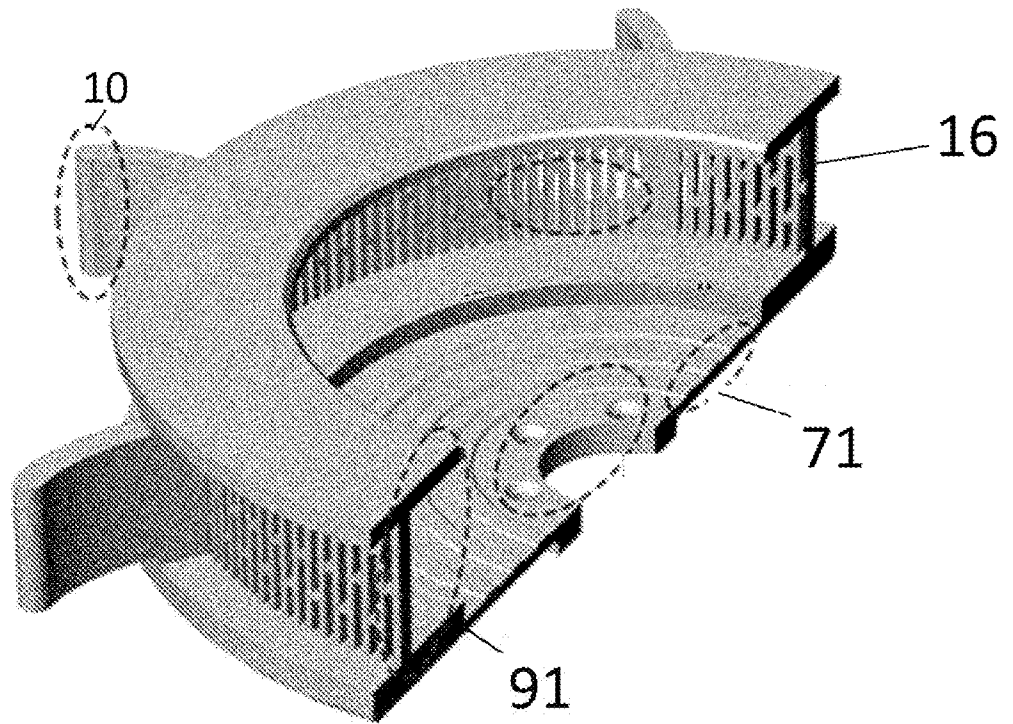


FIG 7

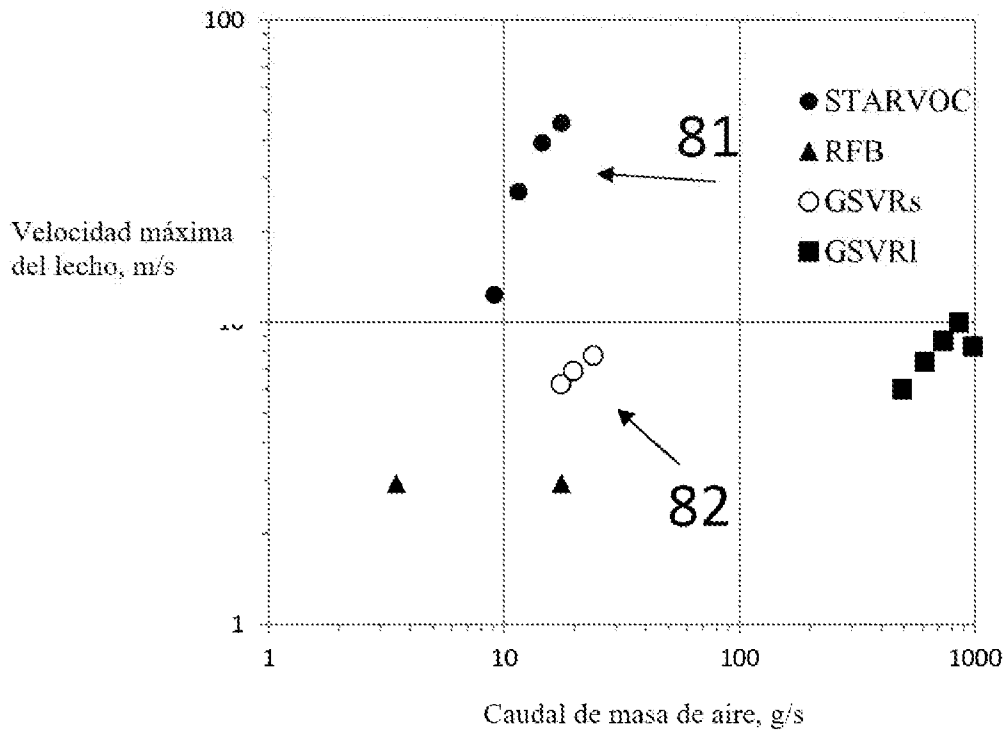


FIG 8

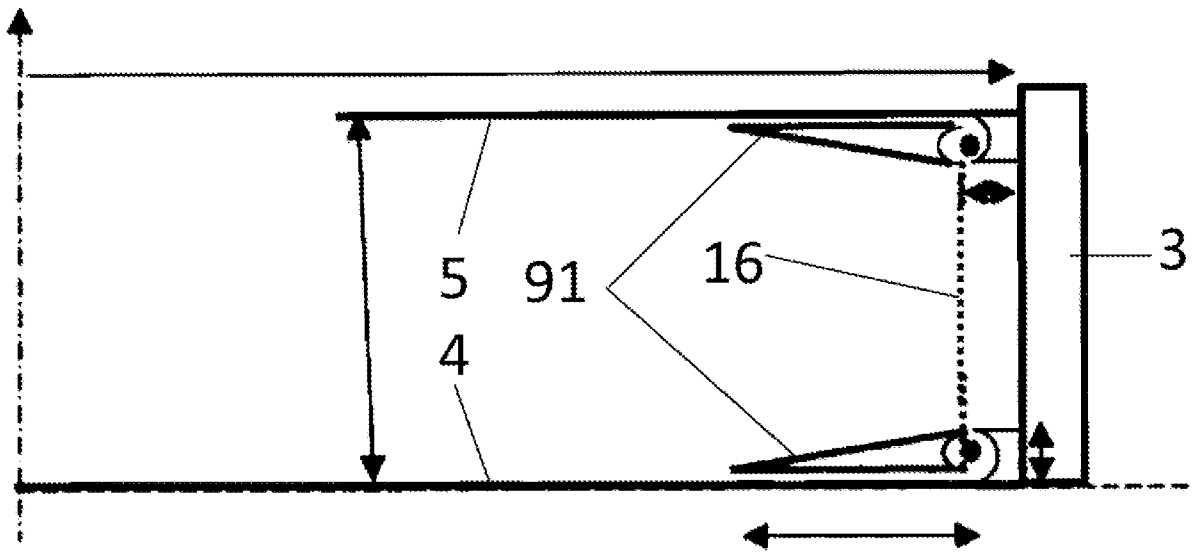


FIG 9

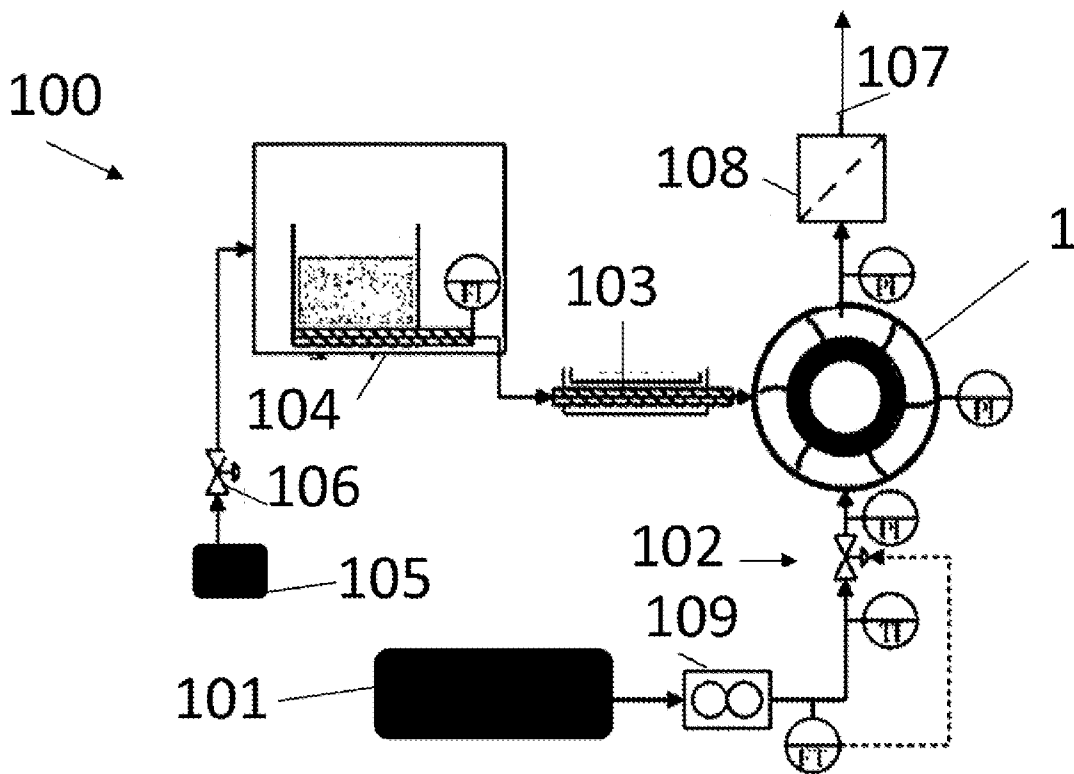


FIG 10

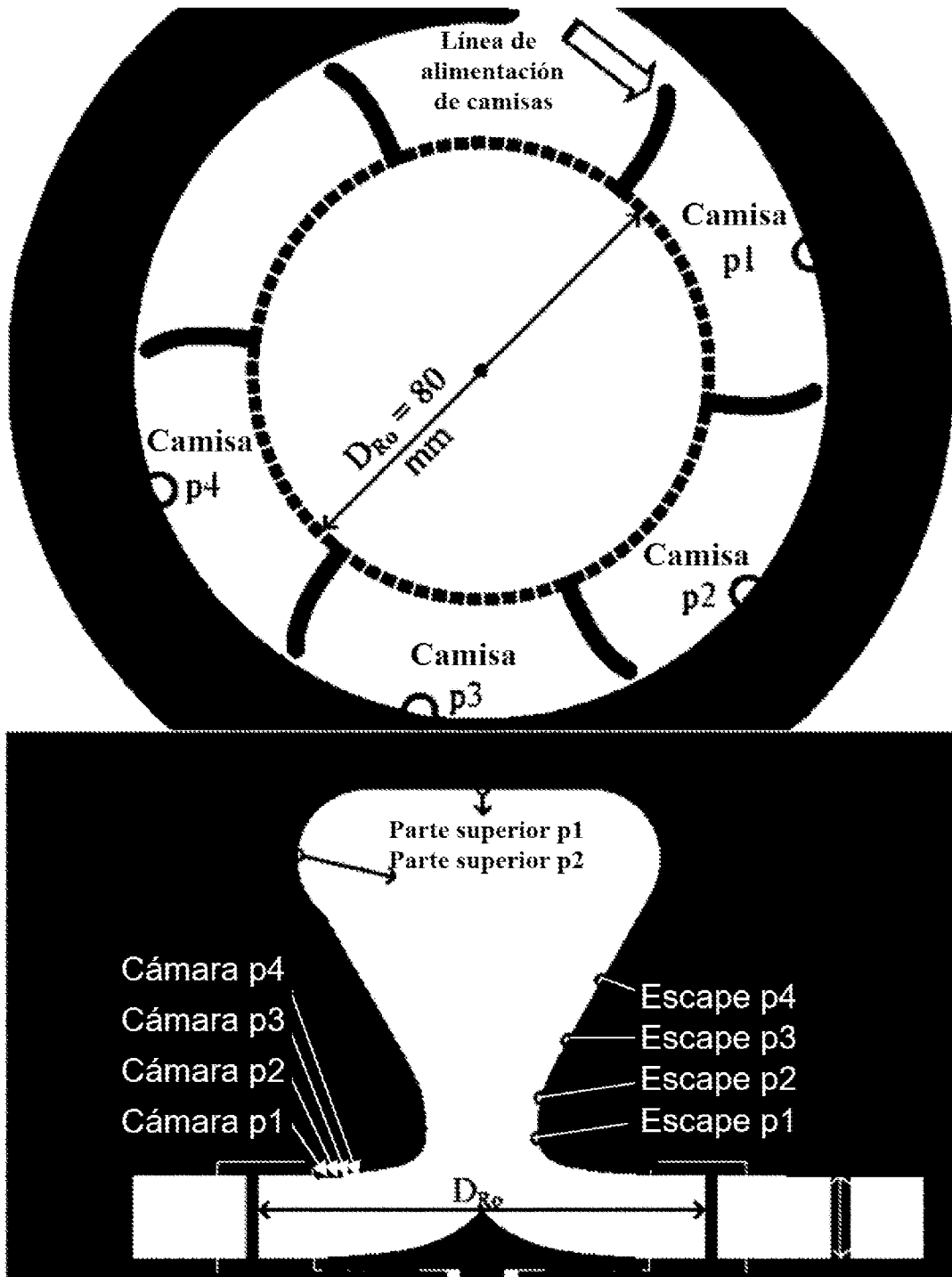


FIG 11

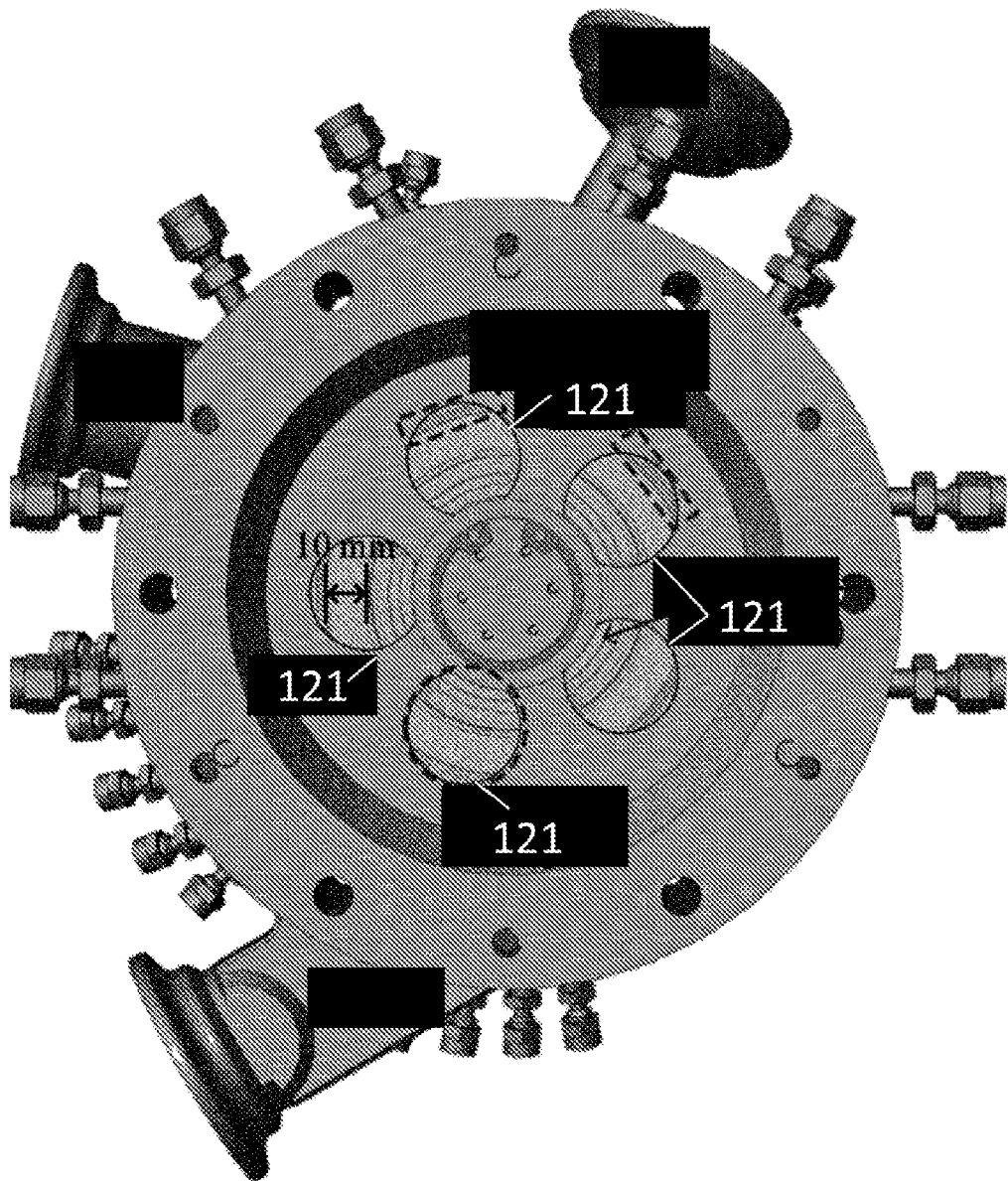


FIG 12

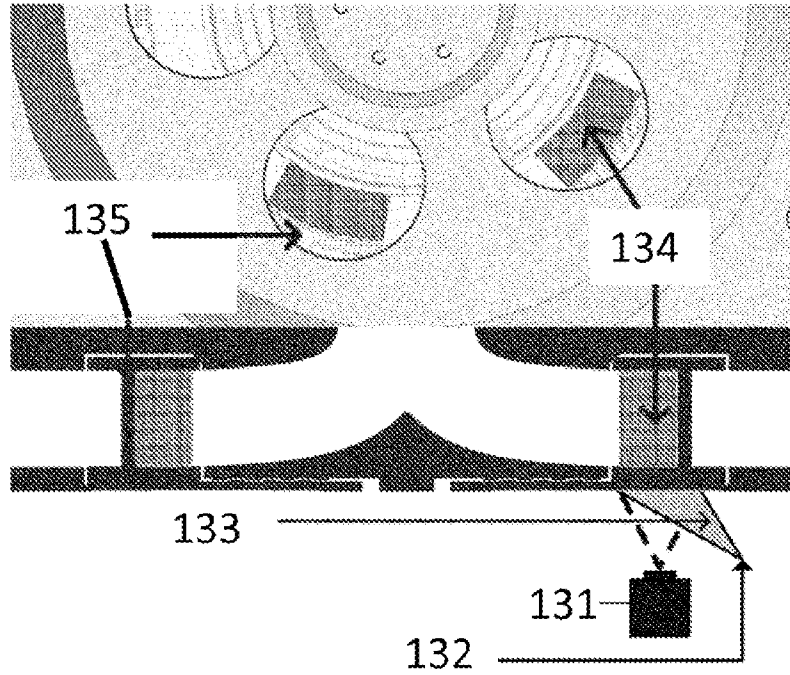


FIG 13

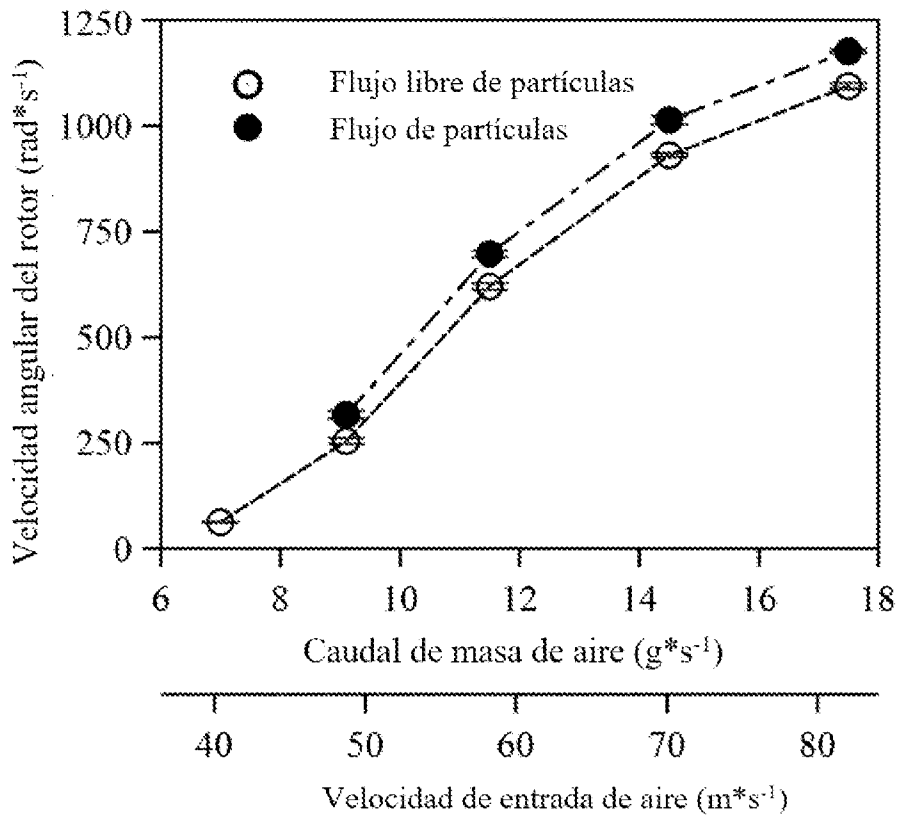


FIG 14

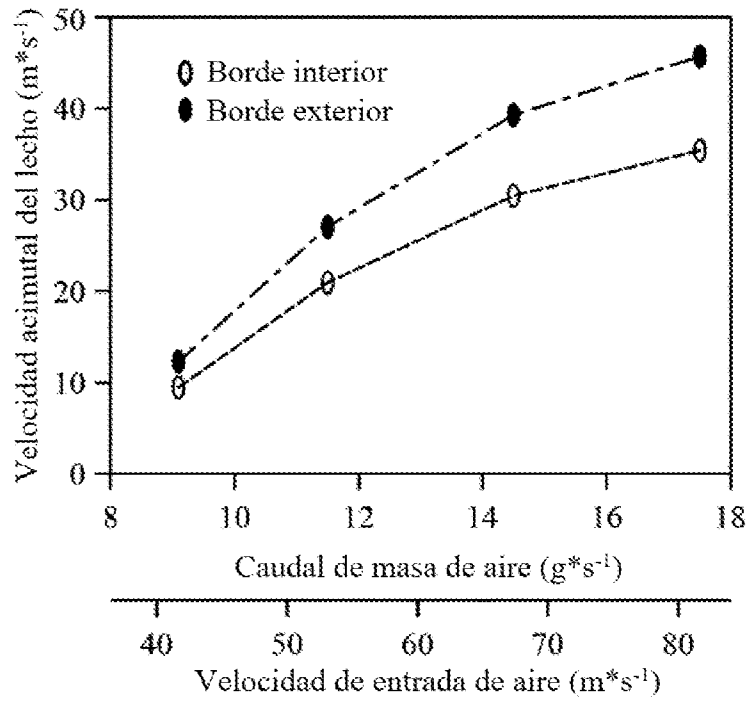


FIG 15

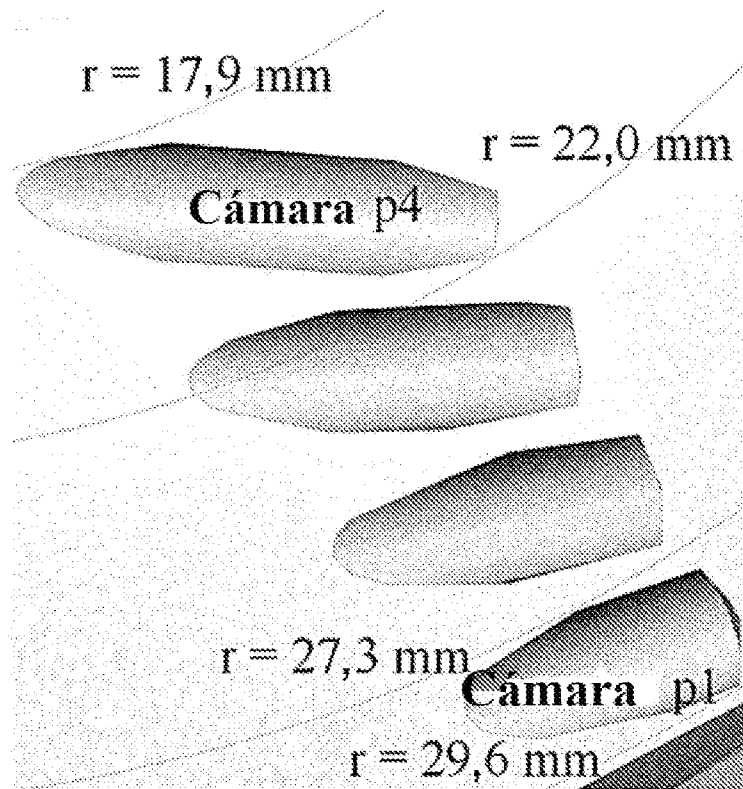


FIG 18

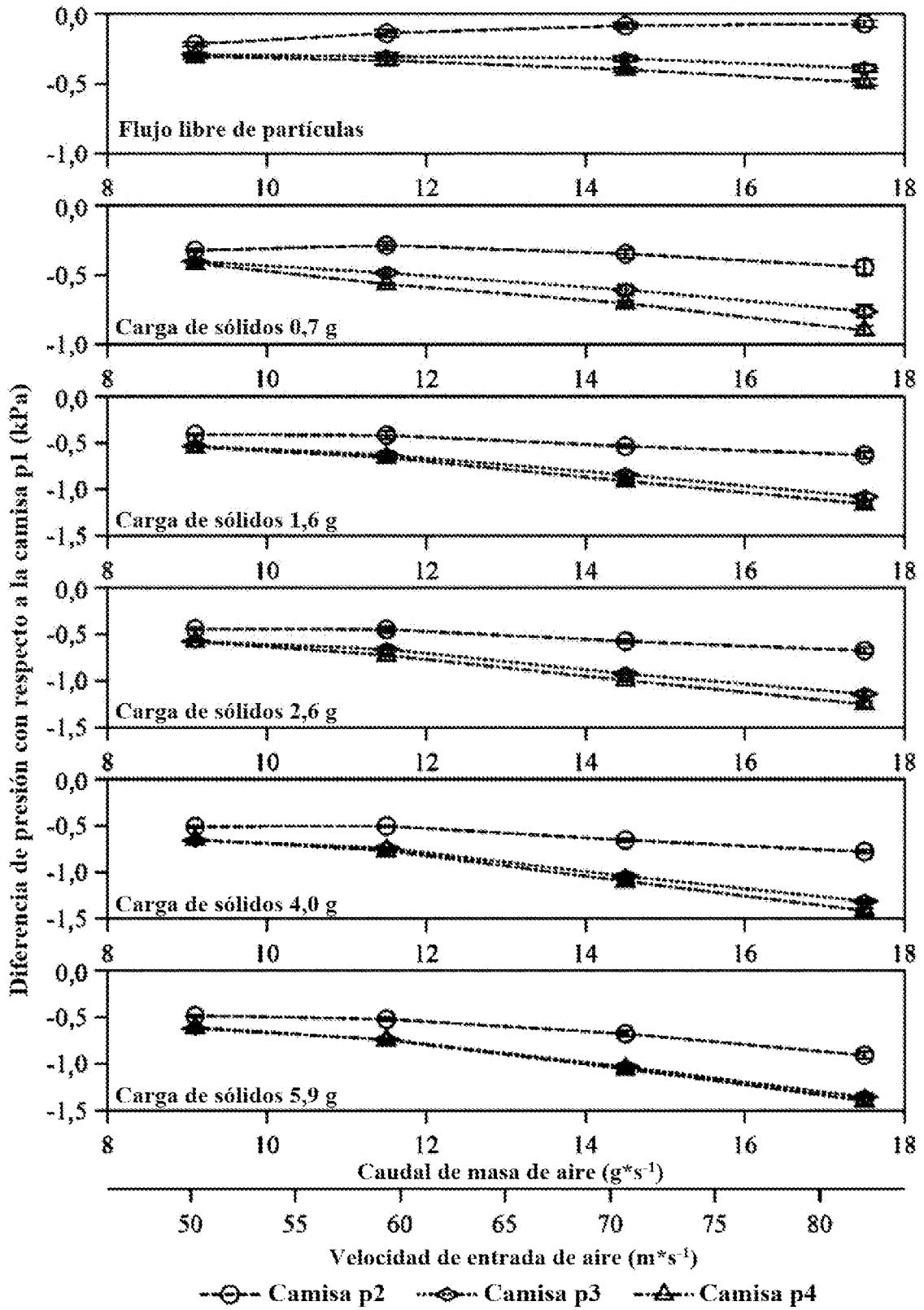


FIG 16

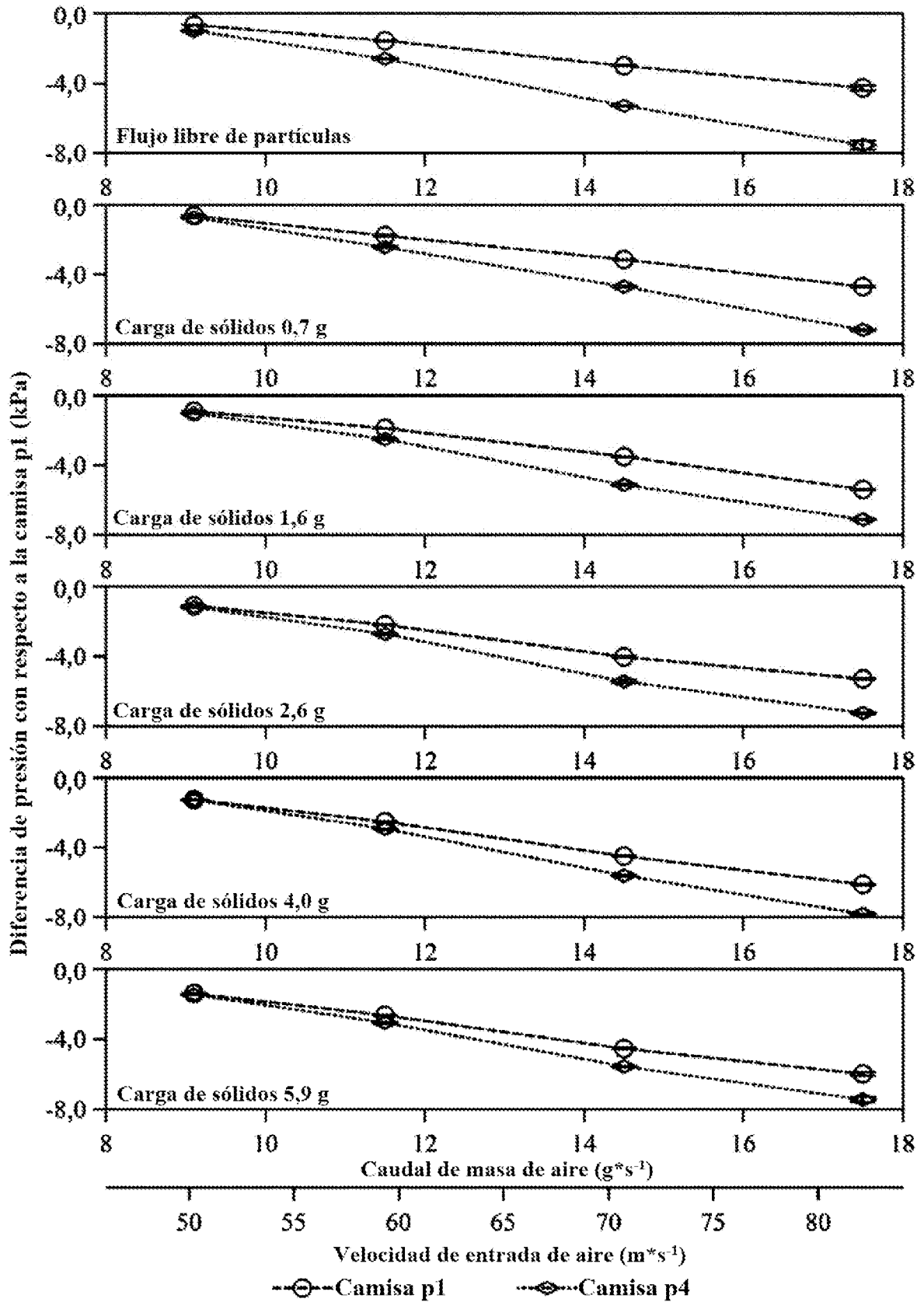


FIG 17

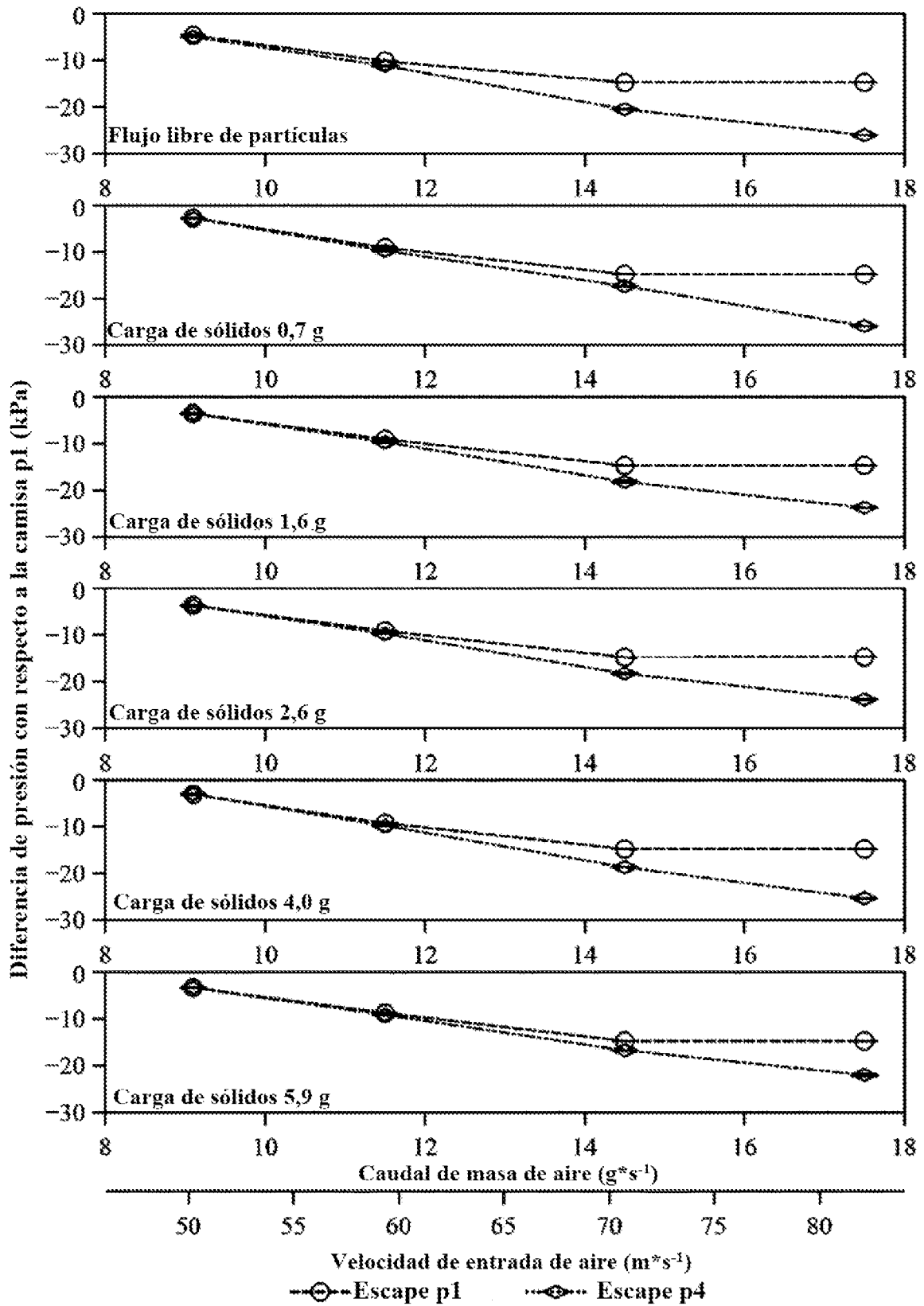


FIG 19

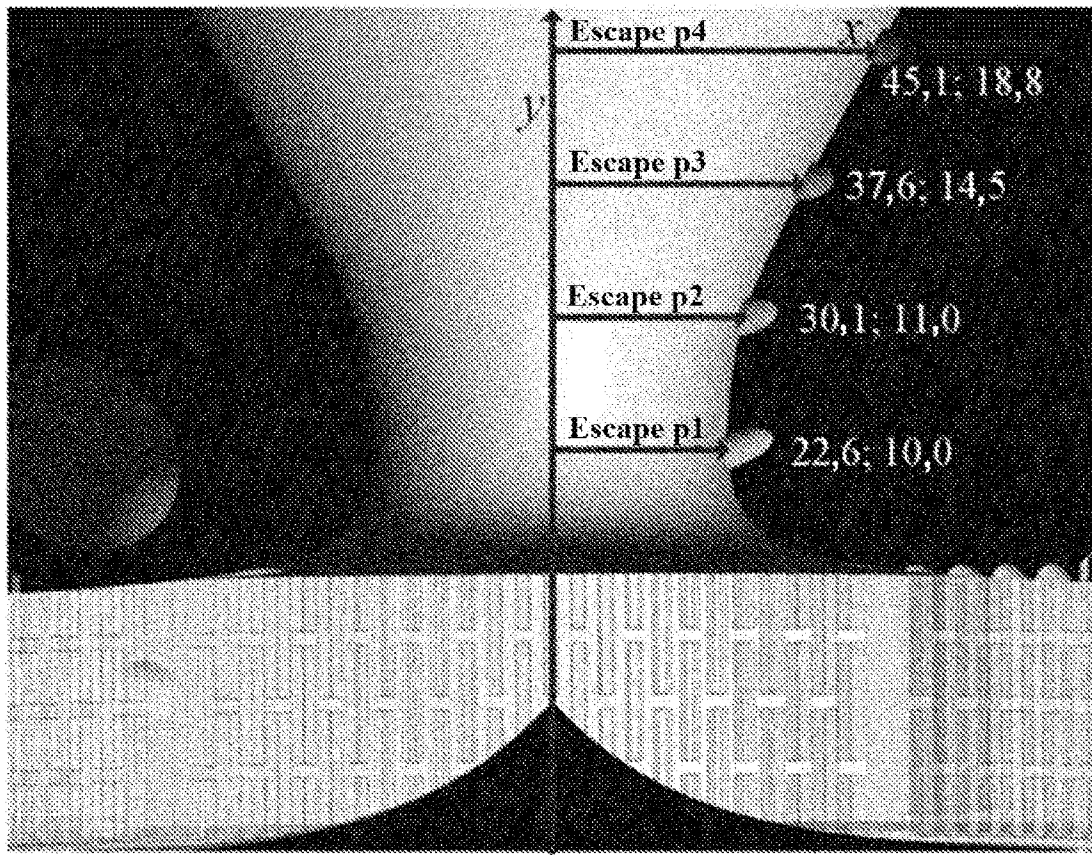


FIG 20

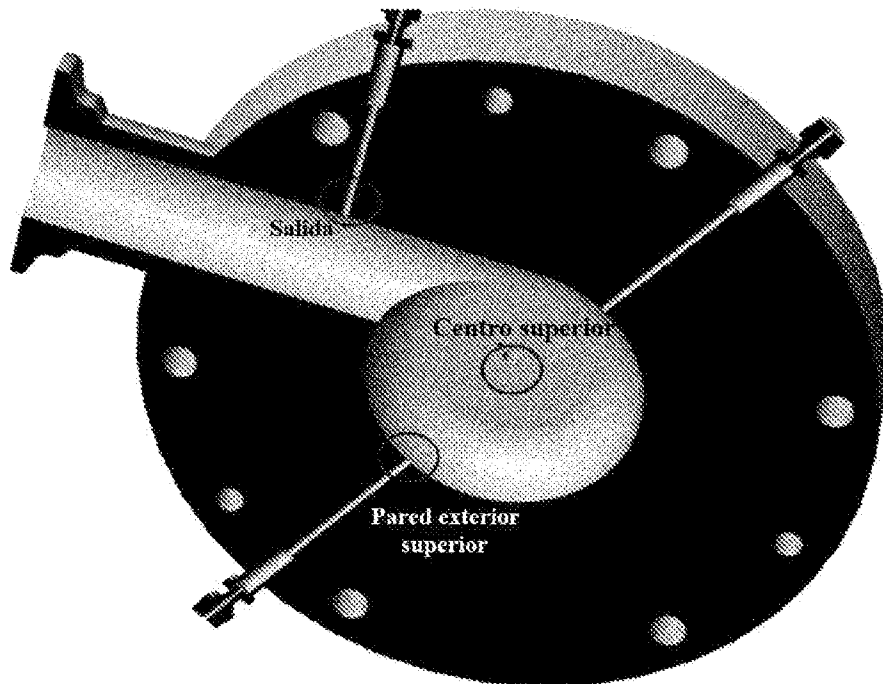


FIG 21

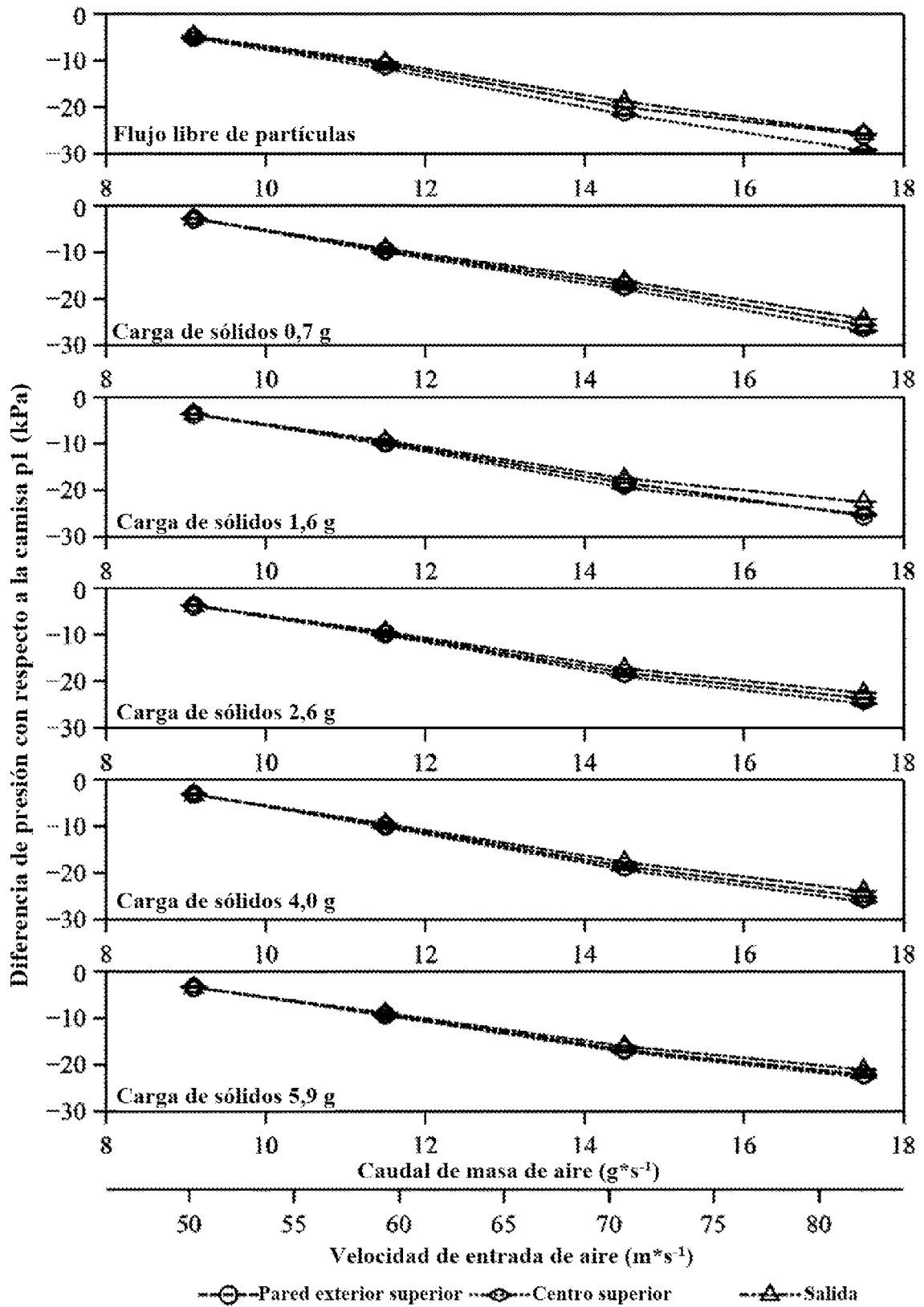


FIG 22

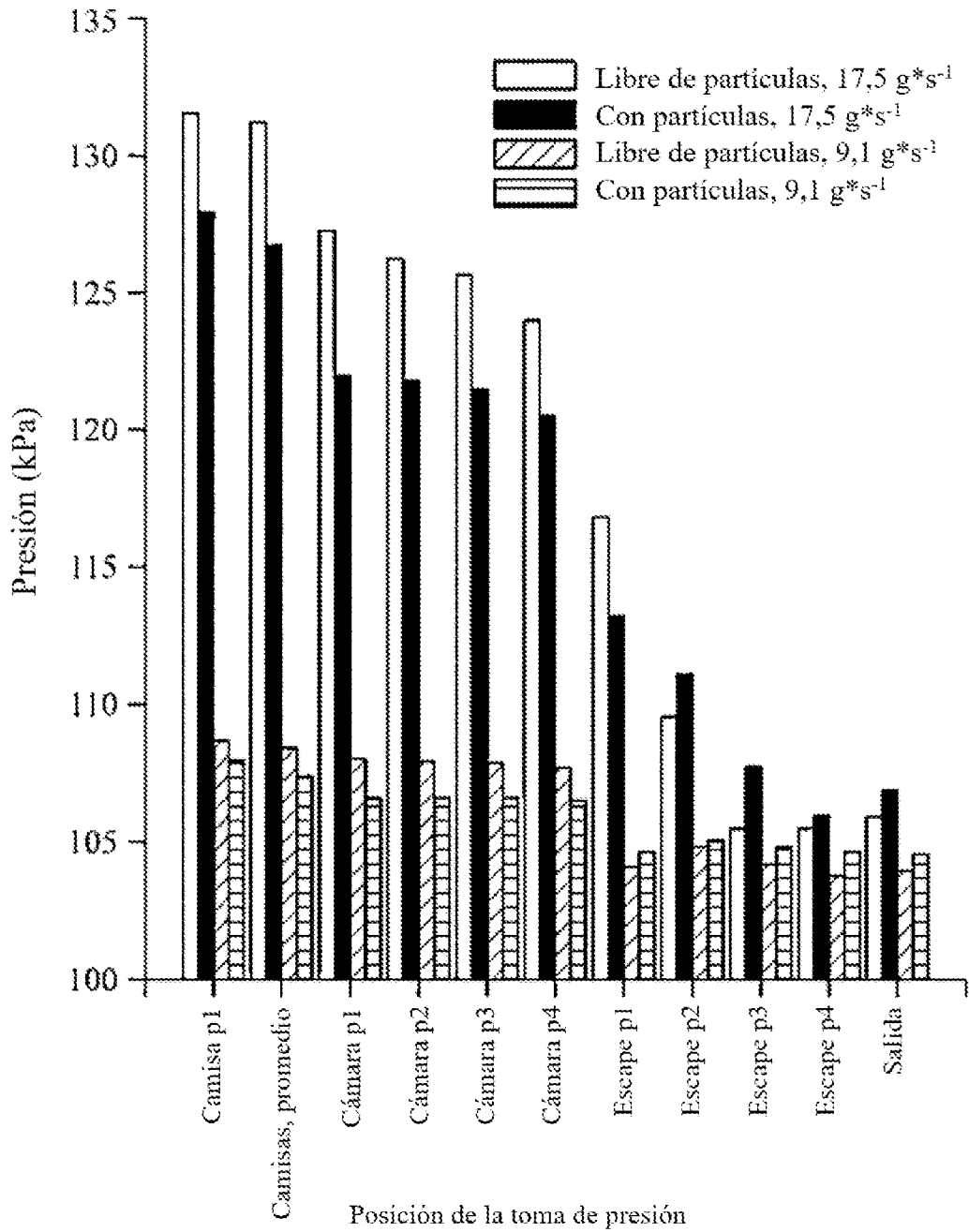


FIG 23

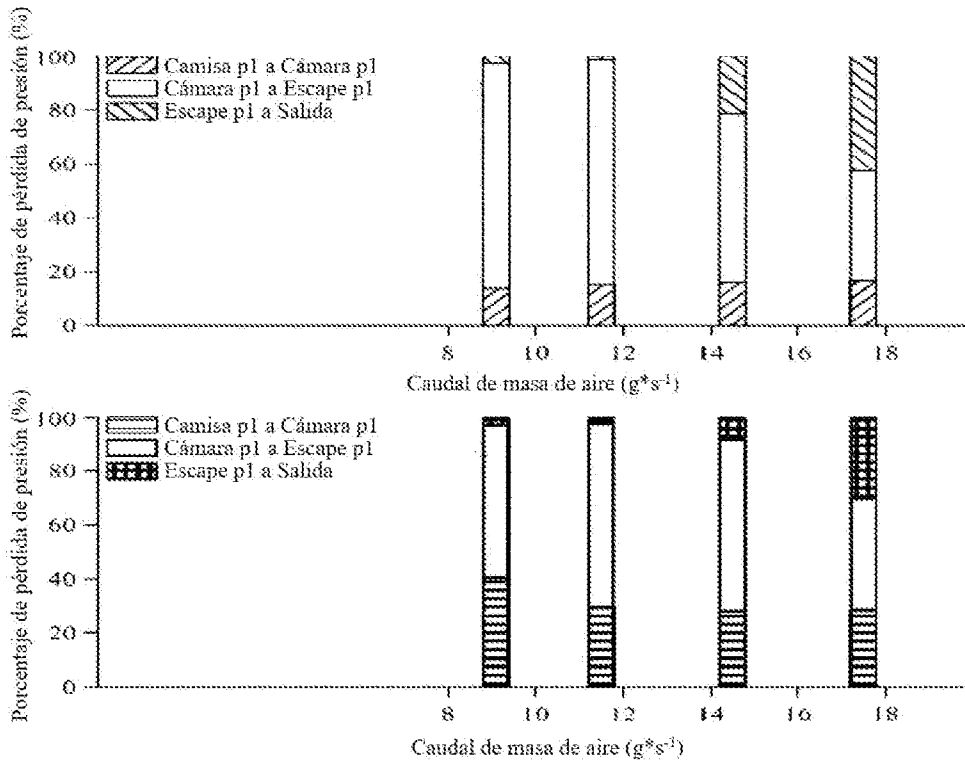


FIG 24

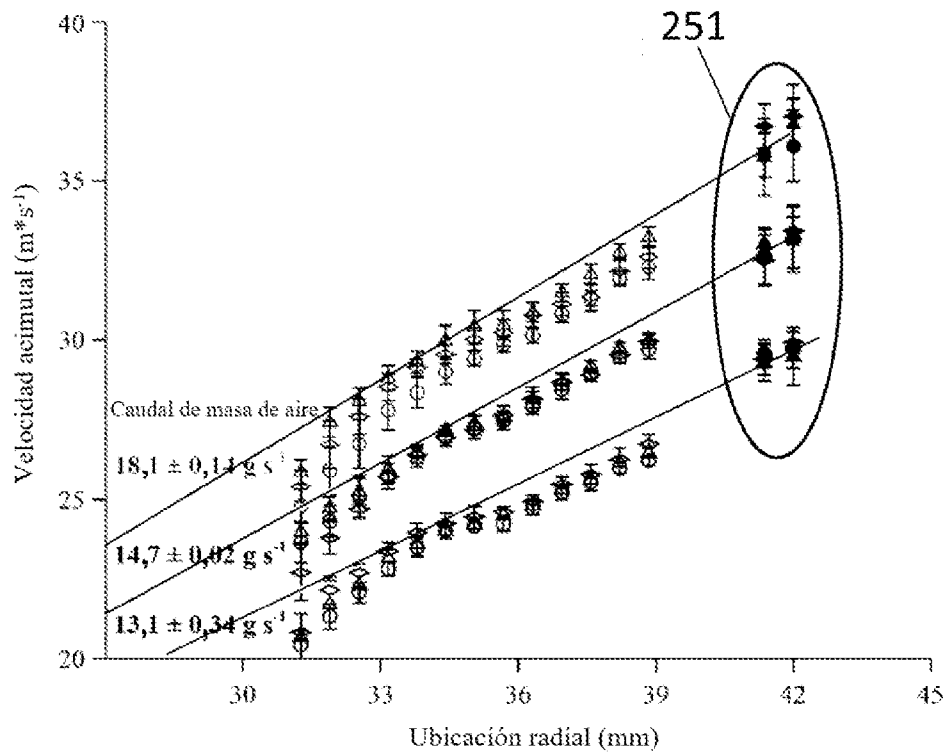


FIG 25

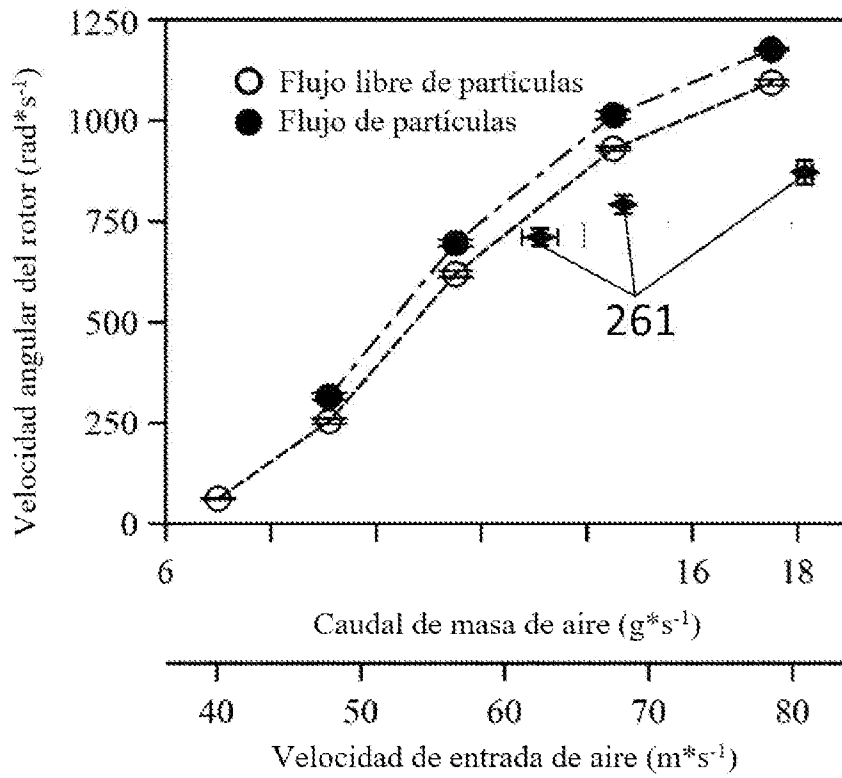


FIG 26

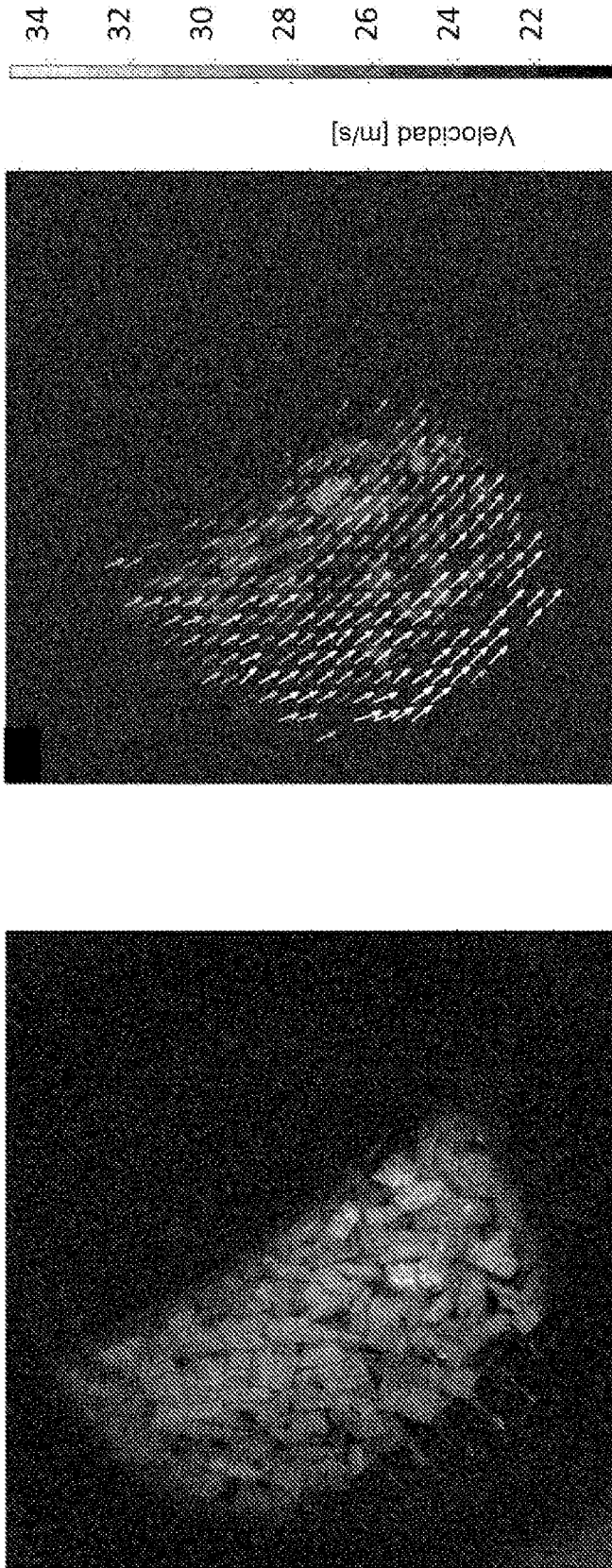


FIG 27 (a)

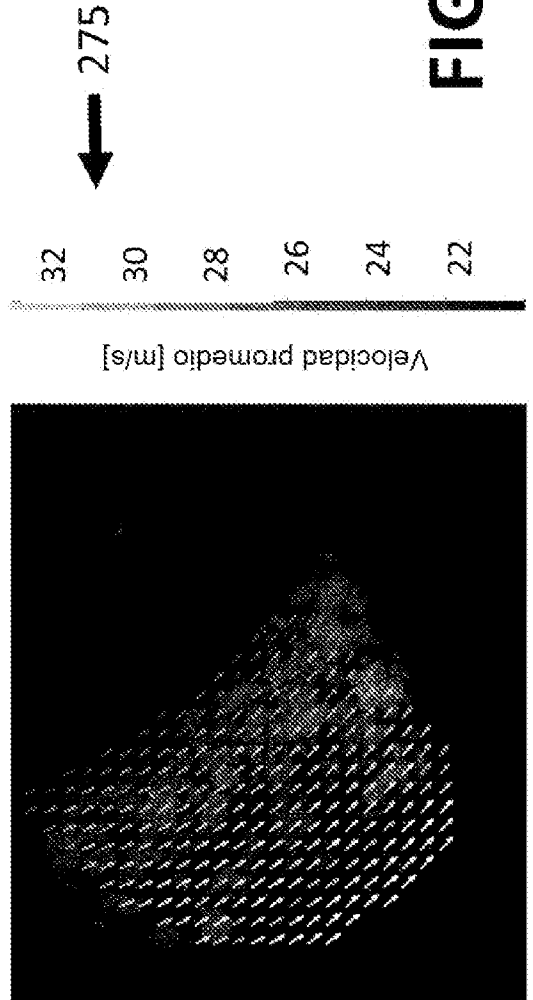
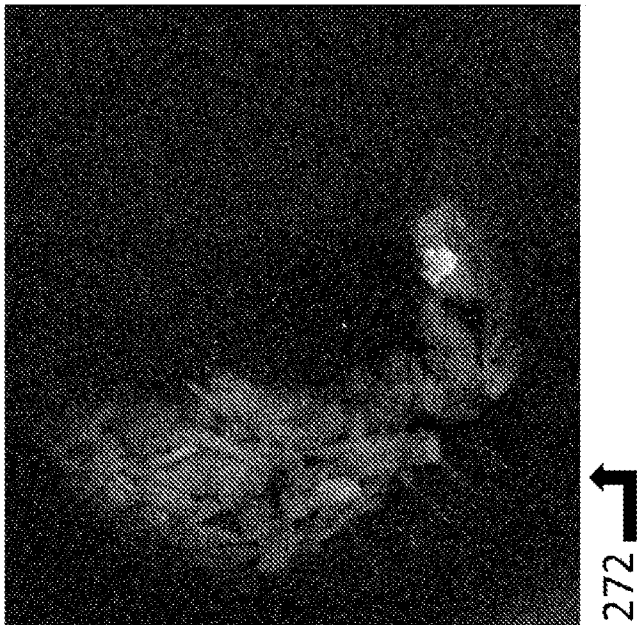
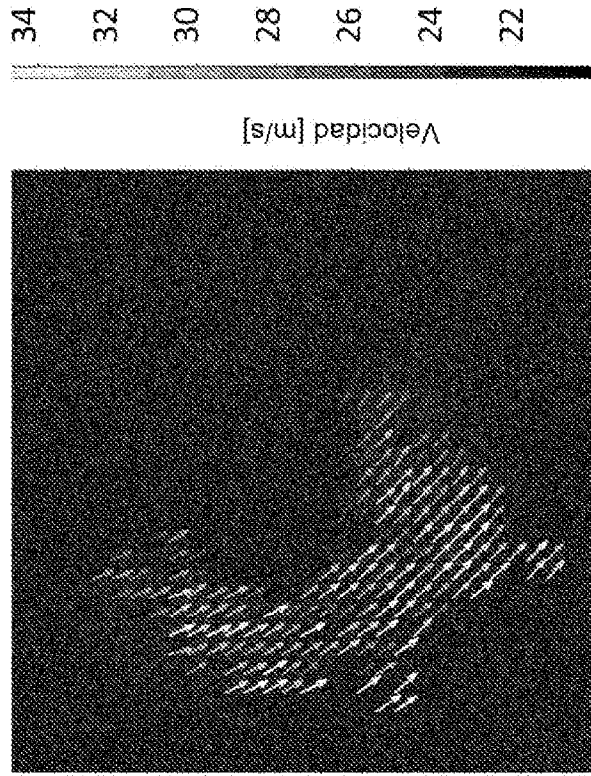


FIG 27 (b)

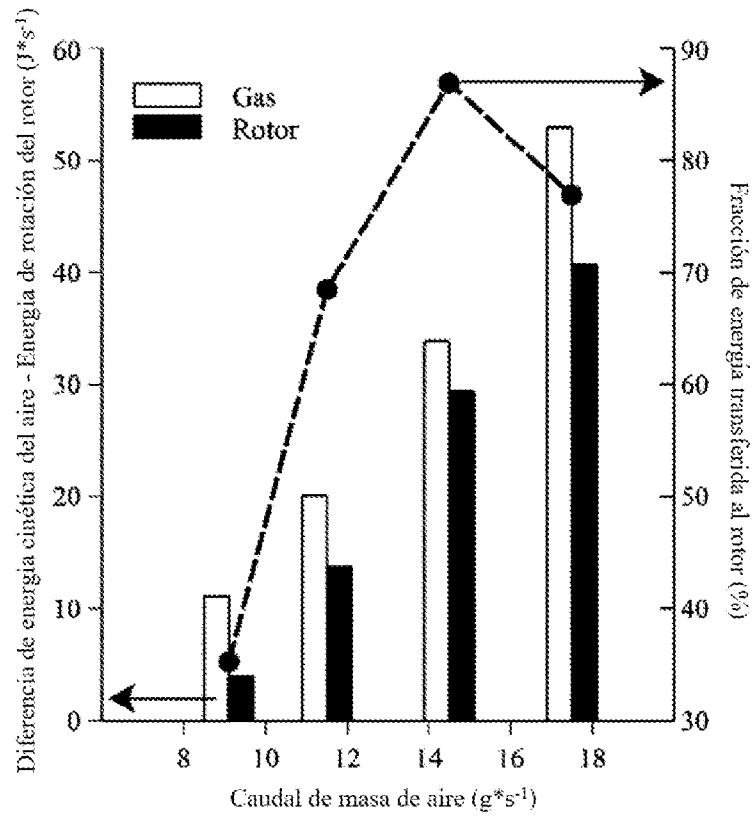


FIG 28

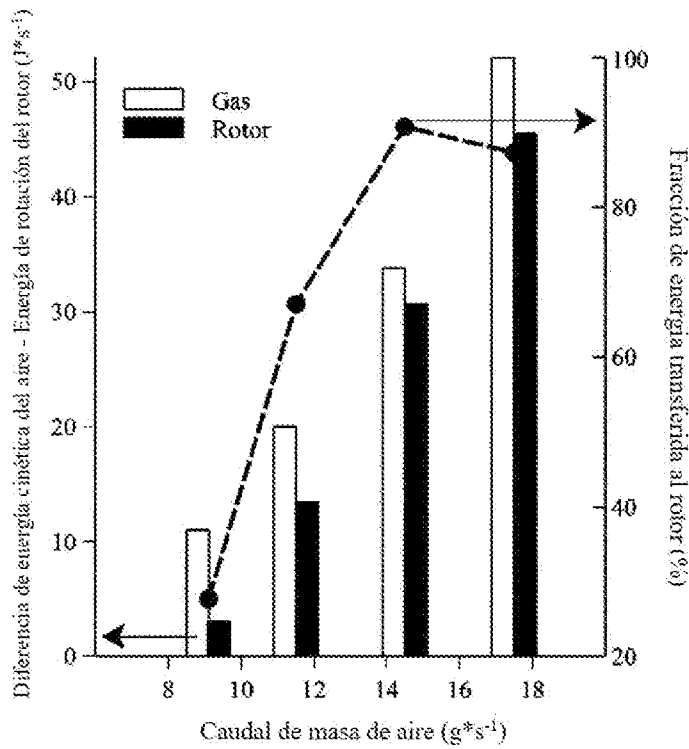


FIG 29

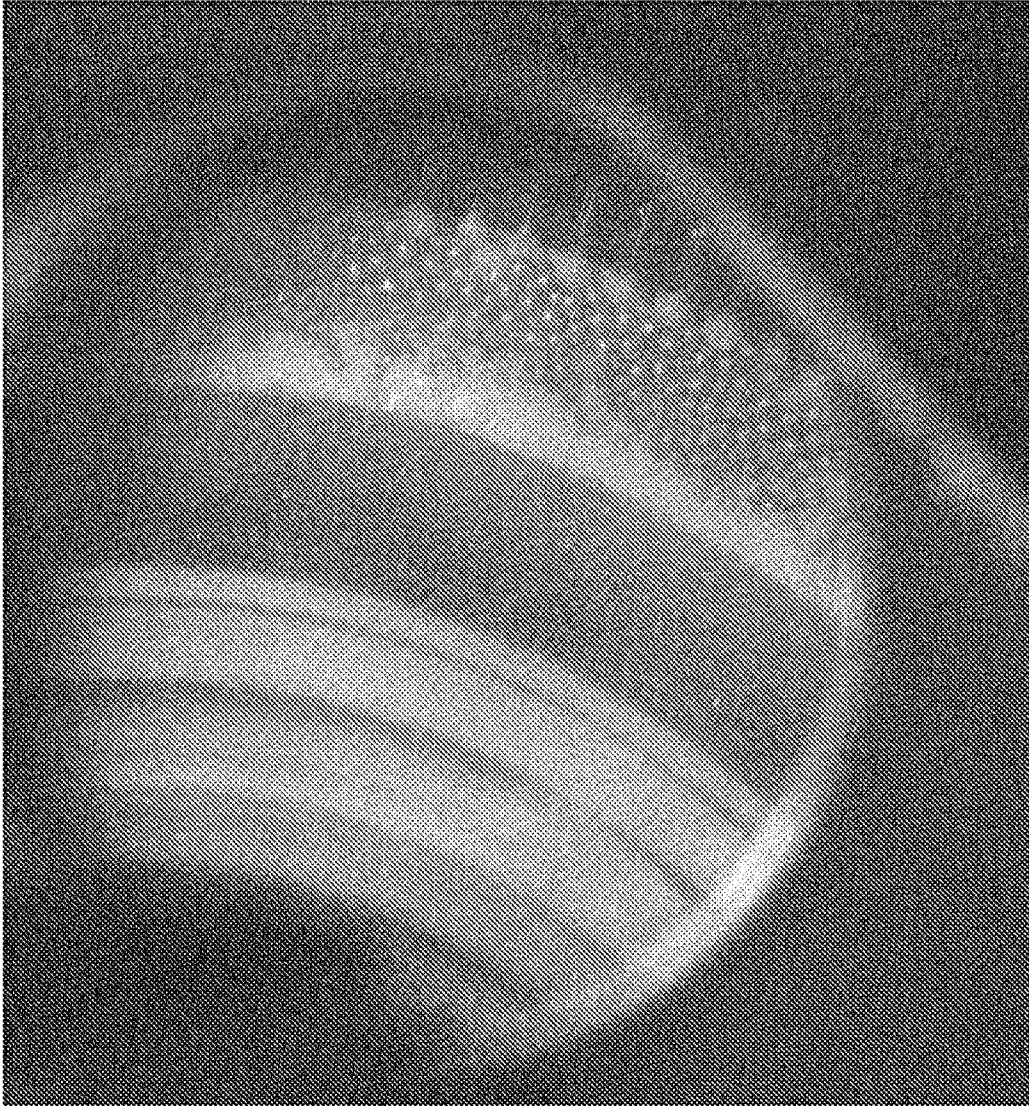


FIG 30