



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 341 934**

⑫ Número de solicitud: 200802055

⑬ Int. Cl.:
B01J 8/42 (2006.01)

⑭

PATENTE DE INVENCION

B1

⑮ Fecha de presentación: **10.07.2008**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **29.06.2010**

Fecha de la concesión: **02.06.2011**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **14.06.2011**

⑱ Fecha de publicación del folleto de la patente:
14.06.2011

⑲ Titular/es: **Universidad de Sevilla**
O.T.R.I.-Pabellón de Brasil
Paseo de las Delicias, s/n
41013 Sevilla, ES

⑳ Inventor/es: **Valverde Millán, José Manuel;**
Espín Milla, Manuel Jesús;
Castellanos Mata, Antonio y
Sánchez Quintanilla, Miguel Ángel

㉑ Agente: **No consta**

㉒ Título: **Fluidización de polvos finos y ultrafinos asistida por campos eléctricos oscilantes.**

㉓ Resumen:

Fluidización de polvos finos y ultrafinos asistida por campos eléctricos oscilantes.

Se describe un método para mejorar la fluidización con gas de polvos finos y ultrafinos. Un procedimiento de fluidización de polvos que comprende hacer pasar un flujo de gas (4) a través de una placa porosa (5) por un lecho de polvo (6) dispuesto sobre dicha placa porosa (5) en una cámara de fluidización (10), comprendiendo el lecho de polvo (6) al menos un polvo seleccionado entre polvos finos que comprenden partículas primarias con un tamaño típico entre 1 y 20 micras, polvos ultrafinos que comprenden partículas primarias con un tamaño típico entre 1 y 1000 nm, y mezclas de los mismos; y simultáneamente someter el lecho de polvo (6) a un tratamiento de agitación para reducir el efecto de la cohesión entre dichas partículas, el cual comprende aplicar sobre dicho lecho al menos a un campo eléctrico oscilante (9). El movimiento inducido por el campo externo oscilante da como resultado una fluidización más uniforme y, consecuentemente, una mayor expansión del lecho fluido.

Se describe también la instalación correspondiente para realizar el procedimiento y se presentan medios (7, 8) para generar el campo eléctrico oscilante.

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Fluidización de polvos finos y ultrafinos asistida por campos eléctricos oscilantes.

5 **Campo técnico de la invención**

La presente invención está comprendida dentro del campo de la producción industrial, en concreto donde se utilicen procesos de transferencia de masa o temperatura, mezclado de sólidos, descontaminación de gases, y catálisis de reacciones químicas en general, mediante técnicas de fluidización de partículas finas y ultrafinas.

10 **Estado de la técnica**

La fluidización de partículas sólidas con gases tiene especial aplicación en procesos como el craqueo de hidrocarburos, recubrimiento de partículas con aditivos, secado, granulación, mezclado, purificación y descontaminación de gases.

El interés de la técnica de fluidización crece conforme el tamaño de las partículas disminuye, puesto que así aumenta el área específica de la superficie de contacto entre las fases gaseosa y sólida y, consecuentemente, el poder catalítico de las reacciones químicas. Una técnica que posee numerosas aplicaciones potenciales es la fluidización de nanopartículas. Esta técnica se emplea ya, por ejemplo, en la producción de nanotubos de carbono que, por el interés de sus propiedades electrónicas, termal y estructurales, están presentes en múltiples aplicaciones modernas y son el objeto de una intensa investigación en la actualidad. La fluidización de partículas finas también cobra un creciente protagonismo en la industria farmacéutica. La presente invención contribuye a optimizar la uniformidad del estado de fluidización de partículas finas y ultrafinas.

Si se hace pasar gas a través de un lecho de partículas sólidas en el sentido contrario al de la gravedad, se alcanza el estado de fluidización cuando la carga de presión del gas al atravesar el lecho granular iguala el peso por unidad de área del material. La velocidad superficial del gas v_g a la que ocurre este fenómeno se conoce como velocidad mínima de fluidización v_{mf} . Las propiedades del estado de fluidización, bajo condiciones de temperatura y presión ambientales, dependen básicamente del tamaño y densidad de las partículas (Geldart, 1973). La omnipresencia de fuerzas de cohesión entre partículas juega un papel relevante en la homogeneidad del estado de fluidización (Castellanos, 2005). Un parámetro adimensional que sirve para cuantificar la relativa intensidad de la fuerza de cohesión entre partículas es el número de Bond granular Bo_g , definido como la razón entre la fuerza de cohesión entre dos partículas y su peso individual. En el caso de granos gruesos poco cohesivos ($Bo_g < 1$, que típicamente comprende tamaños de partícula $d_p < 100$ micras), si la velocidad del gas es incrementada por encima de v_{mf} , una apreciable parte del gas asciende en forma de burbujas (tipo de fluidización conocido como Geldart B). Este burbujeo supone una de las mayores limitaciones a la eficiencia del proceso de fluidización puesto que impide un óptimo contacto entre las fases sólida y gaseosa. Cuando el medio granular es moderadamente cohesivo (Bo_g del orden de 1, que típicamente comprende tamaños de partícula d_p del orden de 50 micras), existe un corto intervalo de velocidades del gas más allá de v_{mf} en el que la fluidización es uniforme. En este estado, el lecho granular toma un aspecto similar al de un sólido poroso debido a las fuerzas de cohesión entre las partículas que pueden soportar la red de contactos permanentes en un estado de ligera expansión (tipo de fluidización conocido como Geldart A). Un ligero incremento adicional de v_g produce la ruptura de los contactos permanentes y, consiguientemente, la transición a la fase de burbujeo típica del comportamiento Geldart B propio de partículas más gruesas. Un considerable incremento de la superficie específica de contacto gas-sólido se logra mediante la fluidización uniforme de partículas muy finas.

Sin embargo, se ha observado tradicionalmente que los polvos finos cohesivos ($Bo_g > 1$, que típicamente comprenden tamaños de partícula $d_p < 20$ micras) son imposibles de fluidizar uniformemente en un estado expandido. Esto es debido a las intensas fuerzas de cohesión. Es usual la formación de superficies de fractura o canales a través de los cuales fluye la mayor parte del gas sin que se mezcle con las partículas (tipo de fluidización conocido como Geldart C). Sin embargo, existe un grupo de polvos finos y ultrafinos que pueden fluidizarse debido a que las partículas se organizan en aglomerados porosos poco cohesivos entre sí (Castellanos, 2005; Zhu *et al.* 2005). En este régimen de fluidización, aparentemente uniforme, los aglomerados no se encuentran en contacto permanente si no que fluctúan en un estado similar al de un sistema de partículas en suspensión en un líquido. Así, por ejemplo, es posible fluidizar nanopartículas de dióxido de silicio.

Estas nanopartículas forman aglomerados de un tamaño típico de cientos de micras y muy porosos. No obstante, y a pesar de que a simple vista la fluidización de estos polvos es uniforme, existen burbujas de gas, cuyo tamaño es del orden o inferior a 10 veces el tamaño de los aglomerados, y que no llegan a alcanzar un tamaño macroscópico que impida la expansión del lecho (Valverde *et al.* 2008a). Además, la aglomeración de las partículas finas reduce el área específica de contacto entre las fases gaseosa y sólida puesto que los aglomerados son prácticamente permeables al flujo de gas. Sería pues deseable mejorar la uniformidad del estado de fluidización de estas nanopartículas así como reducir el tamaño de los aglomerados.

Un parte importante del estudio de la fluidización se ha centrado en el desarrollo de técnicas de fluidización asistida. Por ejemplo, se ha demostrado que el incremento artificial de la cohesión entre granos gruesos da lugar a un cambio en el tipo de fluidización de Geldart B a Geldart A. Esto se ha logrado, por ejemplo, mediante la adición de líquidos (Seville & Clift, 1984) o gases que son absorbidos por la superficie de las partículas (Xie & Geldart, 1995).

También se ha mostrado que es posible estabilizar lechos fluidos de granos gruesos magnéticos mediante la aplicación de campos magnéticos, dando lugar a un comportamiento tipo Geldart A (Hristov, 2002). Asimismo, se ha observado que la aplicación de un campo eléctrico a un lecho fluidizado de granos gruesos conductores resulta en un cambio de tipo de fluidización al tipo Geldart A (Johnson & Melcher, 1975; Kleijn van Willigen *et al.* 2008).

La aplicación de un campo magnético sobre granos magnéticos o de un campo eléctrico sobre granos conductores, genera fuerzas de cohesión intensas entre los granos al ser éstos polarizados por el campo externo. Ello da lugar a la formación de cadenas de granos permanentes que se expanden a lo largo del lecho fluido quedando éste estabilizado en un estado sólido y ligeramente expandido.

Cabe destacar, sin embargo, que, por una parte, la expansión del estado de fluidización uniforme Geldart A es reducida, típicamente alrededor del 5% del volumen inicial.

Por otra parte, los contactos entre partículas son permanentes. Ambas características son un hándicap para el área específica de contacto entre las fases gaseosa y sólida y, por tanto, también para la eficacia catalítica del lecho fluido.

En cuanto a la asistencia a la fluidización de partículas finas micrométricas (Geldart C), una de las técnicas desarrolladas consiste en recubrir la superficie de las partículas con esferas duras nanométricas que dan lugar a una disminución de las fuerzas de cohesión, desestabilizando los canales y permitiendo una fluidización uniforme (Valverde *et al.* 1998; Chen *et al.* 2008). También se ha observado que la aplicación de fuerzas externas ayuda a mejorar la calidad de la fluidización. Dentro de este grupo encontramos las técnicas de vibración (Valverde *et al.*, 2001a; Xu y Zhu, 2006), aplicación de ultrasonidos (Herrera y Levy, 2001), agitación mediante elementos mecánicos como hélices, turbinas, etc. (Alavi y Caussat, 2005), adición de granos gruesos (Alavi y Caussat, 2005), y centrifugación (Qian *et al.*, 2001).

Así mismo, se han desarrollado una serie de técnicas con el objetivo de mejorar la calidad de la fluidización de nanopartículas. Los métodos que han sido empleados con éxito son hasta el momento la aplicación de vibraciones al lecho fluido, aplicación de pulsos acústicos, centrifugación, y aplicación de un campo magnético externo oscilante (Pfeffer *et al.*, 2004). Estas técnicas permiten una reducción del tamaño de las burbujas y del tamaño medio de los aglomerados de nanopartículas, con lo que incrementan el área específica de contacto entre las fases gaseosa y sólida. No obstante, las técnicas de vibración y aplicación de pulsos acústicos pueden estimular la generación de burbujas bajo ciertas condiciones y generan una gran cantidad de polvo elutriado (Nam *et al.*, 2004; Zhu *et al.*, 2004), lo cual limita su aplicabilidad, mientras que la técnica de centrifugación (Quevedo *et al.*, 2006), requiere de un equipo costoso muy sofisticado, difícil de implementar en aplicaciones prácticas. El método más efectivo en asistir a la fluidización de nanopartículas es el método de asistencia magnética. Esta técnica ha sido usada con éxito en la fluidización de nanopartículas de dióxido de silicio (Yu *et al.* 2005; Quevedo *et al.*, 2007).

Sin embargo, el método tiene el inconveniente de que, al no poseer, en general, las nanopartículas propiedades magnéticas, es necesario introducir en el lecho fluido granos gruesos magnéticos que oscilen bajo la acción del campo externo, contribuyendo de esta forma a la reducción de las burbujas de gas y disminución del tamaño de los aglomerados. La adición de elementos externos puede generar problemas de contaminación de la muestra en ciertas aplicaciones.

Descripción de la invención

La presente invención tiene por objeto superar los inconvenientes inherentes en los procedimientos de fluidización de polvos que comprenden hacer pasar un flujo de gas a través de una placa porosa por un lecho de polvo dispuesto sobre dicha placa porosa en una cámara de fluidización, comprendiendo el lecho de polvo al menos un polvo seleccionado entre polvos finos que comprenden partículas primarias con un tamaño típico entre 1 y 20 micras, polvos ultrafinos que comprenden partículas primarias con un tamaño típico entre 1 y 1000 nm, y mezclas de los mismos, y simultáneamente someter el lecho a un tratamiento de agitación para reducir cohesiones entre dichas partículas, mediante un procedimiento en el que el tratamiento de agitación comprende aplicar sobre dicho lecho al menos a un campo eléctrico oscilante.

Una realización preferente es que dicho flujo de gas sea ascendente en sentido contrario al sentido de la gravedad, a través del lecho de polvo.

Asimismo, la presente invención tiene por objeto una instalación para fluidización asistida de un lecho de polvo que comprende al menos un polvo seleccionado entre polvos finos que comprenden partículas primarias con un tamaño típico entre 1 y 20 micras, polvos ultrafinos que comprenden partículas primarias con un tamaño típico entre 1 y 1000 nm, y mezclas de los mismos, que comprende una cámara de fluidización delimitada inferiormente por una placa porosa sobre la que se dispone el lecho de polvo, una entrada de gas situada debajo de la placa porosa y una salida de gas situada por encima de la placa porosa, y medios agitadores para someter el lecho de polvo a agitación, que sirve para llevar a cabo el procedimiento de la invención, y se caracteriza porque los medios agitadores comprenden medios generadores de un campo eléctrico oscilante que actúa sobre el lecho de polvo. Para evitar interferencias con los campos eléctricos que, según la invención, se aplican a la celda de fluidización, preferentemente se emplean placa porosas no metálicas, en sí conocidas en las técnicas de fluidización.

De acuerdo con la invención, el campo eléctrico aplicado al lecho de polvo puede ser un campo eléctrico variable en el tiempo, un campo eléctrico no homogéneo en el espacio, y/o presentar una mayor intensidad en la cercanía de dicha placa porosa.

La presente invención tiene su fundamento técnico en el hecho que, debido a los procesos de carga por contacto y triboelectricidad, prácticamente todas las partículas de cualquier polvo poseen, de forma natural, una cierta carga (Glor M. *Electrostatic Hazards in Powder Handling*. (John Wiley & Sons, New York, 1988); 425-440). Así, si bien, en conjunto, cualquier polvo es en general electroneutro, sus partículas se encuentran cargadas electrostáticamente con carga de diferente signo debido a los procesos de transferencia de carga por contacto (Glor M. *Electrostatic Hazards in Powder Handling*. (John Wiley & Sons, New York, 1988); 425-440). De acuerdo con resultados experimentales, los valores de la carga electrostática por partícula Q de polvos finos electroneutros pueden variar en un rango desde 10^{-17} C hasta 10^{-14} C (Sachse F. *The electrical characteristics of powder and mist*. *Ann. d. Physik* 1932; 14: 396-412; Kunkel WB. *The static electrification of dust partiícles on dispersión into a cloud*. *J. App. Phys.* 1950; 21: 820-832). En presencia de un campo eléctrico E externamente aplicado, estas cargas se ven sometidas a una fuerza eléctrica $F_e = QE$ en dirección paralela al campo eléctrico y sentido dependiente del signo de la carga y del campo. Si el campo eléctrico que se aplica es alterno y su frecuencia no es demasiado alta, las partículas en suspensión siguen al campo en un movimiento oscilatorio.

Los anteriores hechos constituyen el fundamento técnico de la presente invención, puesto que, si este movimiento oscilatorio de las partículas es lo suficientemente intenso, actúa a favor de una mayor interacción entre las partículas y el gas favoreciendo, en consecuencia, la uniformidad del estado de fluidización. Por lo tanto, la aplicación del campo eléctrico externo oscilante como técnica de asistencia a la fluidización de polvos finos y ultrafinos induce a un movimiento oscilatorio de las partículas, de manera que contribuye a mejorar la calidad de la fluidización al mismo tiempo que se evitan problemas de contaminación derivados de la introducción de agentes externos.

El orden de magnitud del campo eléctrico que es necesario aplicar de acuerdo con la invención puede calcularse a partir del balance entre la fuerza eléctrica $F_e = QE$ y la fuerza de resistencia hidrodinámica que se opone al movimiento de las partículas en suspensión. Así, para una partícula aislada en suspensión que se mueve con una velocidad v en régimen laminar, la fuerza de resistencia hidrodinámica viene dada por la fuerza de Stokes $F_s = 3\pi\mu dv$, donde μ es la viscosidad del gas y d es el diámetro de la partícula. En la fluidización de polvos finos y ultrafinos, el estado de las partículas difiere del estado ideal de una partícula en suspensión. Normalmente, las partículas no son esféricas y habitualmente además se encuentran agrupadas en aglomerados porosos. Así, en la ecuación anterior es más realista tomar d como el tamaño medio de estos aglomerados. Además, el movimiento de estos aglomerados se encuentra sometido a fluctuaciones, debido a su interacción con el flujo impuesto de gas ascendente y con el resto de aglomerados.

No obstante a todo ello, la ecuación de balance $F_e = F_s$ es útil para estimar un orden de magnitud de la intensidad del campo eléctrico a aplicar. Típicamente, las partículas en fluidización fluctúan con velocidades del orden de la velocidad superficial del gas (Segre PN, Liu F, Umbanhowar P, Weitz DA. *An effective gravitational temperature for sedimentation*. *Nature* 2001; 409:594). Puesto que es deseable que el campo provoque oscilaciones significativas en las partículas, deberemos exigir que la velocidad v sea, al menos, del orden de la velocidad superficial del gas ($v \approx v_g$). De esta forma, obtenemos una estimación de la intensidad necesaria del campo eléctrico impuesto ($E \approx 3\pi\mu dv_g/Q$), usando como valores típicos: $d \approx \mu\text{m}$, $v_g \approx 1 \text{ cm/s}$, $Q \approx 10^{-14} \text{ C}$ (Valverde JM, Quintanilla MAS, Espin MJ, Castellanos A. *Nanofluidization Electrostatics*. *Phys. Rev. E* 2008; vol. 77, 031301) y $\mu = 1,86 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$ (fluidización con aire a temperatura ambiente normal), obtenemos $E \approx 10^5 \text{ V/m}$. Este valor es inferior del valor límite de la intensidad del campo E_{max} para la ruptura dieléctrica del aire si admitimos la validez de la estimación empírica $E_{\text{max}} \approx 9,3 \times 10^5 / r^{0.3} \text{ V/m}$ (Bailey AG. *Charging of Solids and Powders*. *J. Electrostat.* 1993; 30:167-180), donde r (en metros) es el radio local de curvatura de la superficie.

De acuerdo con la invención, pueden aplicarse campos eléctricos oscilantes no estáticos al lecho de partículas a fluidizar, para así forzar la oscilación de los aglomerados. Esta realización presenta la ventaja frente a cuando se emplea un campo estático, de que se evita que la fuerza electrostática que actúa sobre los aglomerados los arrastre hasta las paredes de la celda o cámara donde quedarían adheridos, formándose una canal central casi libre de partículas a través del cual fluiría la mayor parte del gas (Valverde JM, Quintanilla MAS, Espin MJ, Castellanos A. *Nanofluidization Electrostatics*. *Phys. Rev. E* 2008; vol. 77, 031301).

Para estimar el periodo de oscilación del campo eléctrico impuesto se puede partir del requisitos de que los aglomerados no recorran, durante el intervalo tiempo t igual a un semiperíodo del campo $t = T/2$, distancias comparables o superiores a la mitad de la anchura de la celda o cámara D . De esta forma, resulta la fórmula $T < 3\pi\mu dvD/QE$. Para celdas usadas en fluidización cuya anchura típica sea de varios centímetros, se estima un periodo máximo del campo eléctrico en torno al segundo, es decir, deben aplicarse frecuencias superiores al hertzio, si bien en el caso de celdas de sección transversal circular será necesario aplicar campos a frecuencias más elevadas. Los periodos correspondientes deben ser siempre mucho menores que el tiempo t_{lim} necesario para que un agregado de masa m alcance la velocidad límite bajo la acción del campo eléctrico ($t_{\text{lim}} = m/3\pi\mu dv$). Por ejemplo, para aglomerados con tamaño $d \approx 100 \mu\text{m}$, dimensión fractal $D_f = 2,5$, y formados por partículas nanométricas ($d_p \approx 10 \text{ nm}$) de densidad $\rho_p \approx 1000 \text{ kg/m}^3$, obtenemos un tiempo t_{lim} inferior a la milésima de segundo. Es decir, en este caso particular, es previsible que el campo alterno deje de tener un efecto apreciable para frecuencias en torno al kHz.

De acuerdo con la invención, pueden aplicarse campos eléctricos no homogéneos en el espacio, de manera que la intensidad del campo sea mayor en las regiones vecinas al fondo del lecho granular con el objeto de promover el movimiento de los agregados más pesados que allí se encuentran, para contrarrestar así un fenómeno habitual en la fluidización de partículas con una amplia dispersión en su distribución de tamaños es la estratificación.

Normalmente las partículas de mayor tamaño y más pesadas se encuentran en el fondo del lecho fluido mientras que las partículas más finas tienden a residir en zonas cercanas a la superficie libre. Este fenómeno se da igualmente en la fluidización de aglomerados de partículas finas y ultrafinas ya que estos aglomerados tienen en general una distribución de tamaños muy dispersa (Valverde JM, Quintanilla MAS, Castellanos A, Lepek D, Quevedo J, Dave RN, Pfeffer R. Fluidization of fine and ultrafine particles using nitrogen and neon as fluidizing gases. AICHE J. 2008; 54:86-103).

Es conocido que existe una correlación directa entre el coeficiente de difusión efectivo de las partículas en fluidización y el grado de expansión del lecho fluido (Valverde JM, Castellanos A y Quintanilla MAS. Self-diffusion in a gas-fluidized bed of fine powder. Phys. Rev. Lett. 2001; 86:3020-3023). La aplicación de campos eléctricos oscilantes según la presente invención ayuda a la expansión del lecho a través del incremento en el grado de agitación de las partículas y, consecuentemente, de su coeficiente de difusión efectivo, lo cual es especialmente útil en aplicaciones en las que se desea usar el lecho fluido para la mezcla polvos ya que el uso de campos eléctricos oscilantes incrementará la velocidad de mezclado de los componentes sólidos.

De lo anterior se desprende que la presente invención satisfactoriamente supera los inconvenientes del estado de la técnica anteriormente existente mediante una tecnología simple de aplicar, poco costosa y eficaz.

De acuerdo con lo que puede apreciarse en la figura 1, una realización de la invención es una instalación típica para la fluidización de polvos finos y ultrafinos que comprende una fuente de gas comprimido (1) conectada mediante un conducto de alimentación de gas (13) a una entrada de gas (11) en una cámara o celda de fluidización (10) de sección transversal circular y provista de una salida de gas (12). En el conducto de alimentación (13) están interconectados, de forma en sí convencional, un controlador de flujo de gas (2) y un medidor de presión diferencial (3). En el interior de la cámara se encuentra una placa porosa (5) sólida que está dispuesta en un plano vertical entre la entrada (11) y la salida (12) de gas. Sobre la placa porosa (5) se encuentra un lecho de polvo fino (6).

Una realización muy preferente es que la entrada de gas está situada en la parte inferior de la cámara de fluidización y que la salida de gas esté en su parte superior.

De acuerdo con la invención, la instalación también dispone de medios generadores de un campo eléctrico oscilante (9) comprendidos por una fuente de generación (7) del campo eléctrico variable en el tiempo, y electrodos (8) dispuestos en la pared externa de la cámara (10) de tal manera que generen dicho campo eléctrico oscilante que pueda actuar sobre el lecho de polvo fino (6).

Otra realización de la invención comprende que dicho campo eléctrico sea no homogéneo en el espacio. Una realización particular es que dicho campo eléctrico presente una mayor intensidad en la cercanía de dicha placa porosa.

Para fluidizar el lecho de polvo fino (6), se hace pasar un flujo de gas (4) desde la fuente de gas comprimido (1) por el conducto de gas (13) a la entrada de gas (11) de la cámara o celda (10). El gas entrante en la celda atraviesa la placa porosa (6), de tal forma que el flujo de gas que asciende en sentido contrario al de la fuerza de gravedad g penetra a través de los intersticios entre las partículas y aglomerados del polvo fino (6), queda uniformemente distribuido para así asegurar una fluidización lo más eficiente posible del lecho de polvo. Una vez que el flujo de gas ha pasado por el lecho de polvo, abandona la cámara (10) por la salida de gas (12).

Asimismo, al aplicarse el campo eléctrico oscilante, se produce una agitación de las partículas de lecho de polvo suspendidas en el flujo de gas, de tal manera que esa agitación contribuye a evitar la formación de burbujas y canales de gas en el lecho fluidizado, contribuyendo así a una fluidización más eficaz.

Empleando una instalación experimental de fluidización que comprende los elementos y funciones más arriba descritos sobre la base de la figura 1, se realizaron diversos experimentos para ilustrar como la aplicación de un campo eléctrico oscilante según la invención produce un incremento de la expansión los polvos ultrafinos en el estado de fluidización y, por lo tanto, una fluidización más eficiente de tales polvos.

Para estos experimentos se ha usado una celda cilíndrica (10), fabricada en policarbonato, de diámetro interno 2,54 cm y altura 16,2 cm. La placa porosa (5) era una placa porosa de acero inoxidable sinterizado (con un tamaño de poro en torno a las 5 micras) que soportaba el polvo y distribuía el flujo de gas a través de éste. El flujo de gas (aire seco) se controlaba mediante un controlador de flujo MKS (modelo 179A) en un rango de 0 a 2000 cm³/min. La celda (10) estaba situada entre dos electrodos cuadrados (8) de 14 cm de lado. La distancia típica entre los electrodos era de 7,6 cm. Uno de los electrodos (8) estaba conectado a tierra mientras el otro electrodo estaba conectado a un amplificador de potencial (modelo Trek 20/20A) con el fin de amplificar en un factor de 2000 la señal suministrada por un generador de pulsos. Se usó una forma de onda cuadrada.

ES 2 341 934 B1

Entre el borde inferior de los electrodos (8) y la placa porosa (5) existía, a modo de distancia de seguridad, una separación de 3 cm. Tal distancia de seguridad se uso para evitar problemas eléctricos asociados al carácter metálico de la placa porosa. Este dato hay que tenerlo en cuenta ya que prácticamente el polvo no sentirá el campo aplicado hasta que se expanda hasta una altura h por encima de esta altura (unos 3 cm). Evidentemente, en los caso de las placas porosa no metálicas y no conductoras, no es necesaria dicha distancia de seguridad entre los electrodos (8) y la placa porosa (5).

Usando este dispositivo se pudo observar el comportamiento del lecho fluido sometido a campos alternos de amplitud máxima $E=1,5 \times 10^5$ V/m y frecuencia en el rango de 5 a 200 Hz.

El polvo ultrafino empleado para mostrar el efecto del campo eléctrico oscilante sobre la fluidización del lecho era Aerosil® R974, formado por nanopartículas de dióxido de silicio. El tamaño y la densidad de las partículas primarias eran $d_p = 12$ nm y $\rho_p = 2250$ kg/m³, respectivamente. La masa de polvo usada m era de alrededor de 0,2 gramos. La altura de la capa de polvo sedimentada en la celda es de $h_0=0,5$ cm. El valor medido de la expansión relativa $\Delta H/H_0$, donde H_0 era la altura del lecho fluidizado sin campo eléctrico y ΔH era su incremento de altura al aplicar el campo eléctrico, era un dato objetivo que permitió evaluar la calidad del estado de fluidización.

Al respecto, debe recordarse que, cuanto mayor es la expansión del lecho fluidizado, mayor es el grado de mezcla entre las fases sólida y gaseosa, ya que ello indica una disminución del tamaño típico de las burbujas de gas así como una posible disminución del tamaño típico de los aglomerados. Para el polvo Aerosil® R974, que presenta una fluidización uniforme a simple vista en ausencia de campo eléctrico aplicado, el tamaño típico de las burbujas de gas D_b puede estimarse en torno a 10 veces, como máximo, el tamaño típico de los aglomerados de partículas (del orden de cientos de micras), es decir $D_b \approx 1$ mm.

El protocolo experimental consistía en primero aplicar el flujo de gas hasta que el lecho fluidizado alcanzaba el estado estacionario, en el que se mide el valor de H_0 .

Posteriormente, se aplicaba el campo eléctrico de intensidad dada para una frecuencia determinada. Una vez alcanzado el estado estacionario del lecho fluidizado con aplicación del campo eléctrico, se media la variación de la altura ΔH . Seguidamente, se desconectaba el campo eléctrico y, tras alcanzar el estado estacionario, se media la altura alcanzada sin campo eléctrico aplicado (normalmente esta altura era algo menor que la inicial debido a la elutriación de partículas). Seguidamente, se aplicaba, de nuevo, un campo de intensidad mayor para la misma frecuencia y se media el incremento de altura. Este ciclo se repetía hasta que para los campos más intensos resultaba difícil apreciar a simple vista la superficie libre debido a la alta porosidad del material fluidizado. Estas medidas se realizaban para frecuencias en el rango de 5 a 1000 Hz.

Los resultados de los experimentos realizados quedan resumidos en la figura 2, donde se muestra la expansión relativa $\Delta H/H_0$ del lecho fluidizado a una velocidad superficial del gas fija $v_g=2,7$ cm/s.

De acuerdo con lo que demuestra la figura 2, se pudo observar que la expansión del lecho fluido crecía de forma monótona con la intensidad del campo eléctrico. La expansión inducida por el campo eléctrico comenzaba a ser apreciable a partir de valores del campo alrededor de $E=10^5$ V/m, mientras que se pudo apreciar una frecuencia de rendimiento óptimo en torno a 20 Hz en la que se llegó a conseguir una expansión relativa del 20% para un campo de 1,3 kV/cm. Para frecuencias inferiores a 10 Hz o superiores a 200 Hz el efecto del campo era menos notable y en concreto para 5 Hz y 1000 Hz era poco apreciable. Estos resultados están de acuerdo con las estimaciones teóricas hechas para este polvo en el apartado "Descripción de la Invención" de la presente memoria descriptiva.

De los resultados mostrados en la figura 2, se desprende por tanto que es posible encontrar parámetros del campo aplicado que dan lugar a una mayor expansión del lecho fluido. Esto es extrapolable a una mejora en la eficiencia de los procesos industriales en los se emplea la fluidización de este polvo aplicando el campo eléctrico oscilante de acuerdo con la presente invención.

Breve descripción de las figuras

A continuación se describirán aspectos de la invención sobre la base de unas figuras en las que la figura 1 es un esquema general una instalación para la fluidización de polvos finos y ultrafinos con gas asistida, de acuerdo con la presente invención, por un campo eléctrico oscilante; la figura 2 es un gráfico que muestra la expansión relativa de un lecho fluidizado de nanopartículas con una velocidad superficial del gas fijada $v_g=2,7$ cm/s en función de la intensidad del campo eléctrico aplicado con diferentes frecuencias de oscilación (forma de onda cuadrada).

En estas figuras aparecen unas referencias numéricas asociadas a los siguientes elementos:

- 1 Fuente de gas comprimido
- 2 Controlador del flujo de gas
- 3 Medidor de presión diferencial

ES 2 341 934 B1

- 4 Flujo de gas controlado
- 5 Placa sólida de material poroso que distribuye el flujo de gas hacia el polvo
- 6 Polvo fino que se desea fluidizar
- 7 Fuente de generación de un campo eléctrico variable en el tiempo
- 8 Electrodo
- 9 Campo eléctrico que actúa sobre el polvo
- 10 Celda o cámara de fluidización
- 11 Entrada de gas
- 12 Salida de gas
- 13 Conducto de alimentación de gas de fluidización

Referencias

- **Alavi S, Caussat B.** Experimental study on fluidization of micronic powders. *Powder Technol.* 2005; 157: 114-120.
- **Bailey AG.** Charging of Solids and Powders. *J. Electrostat.* 1993; 30: 167-180.
- **Castellanos A.** The relationship between attractive interparticle forces and bulk behaviour in dry and uncharged fine powders. *Adv. Phys.* 2005; 54: 263-376.
- **Chen Y, Yang J, Dave RN, Pfeffer R.** Fluidization of coated group C powders. *AIChE J.* 2008; 54: 104-121.
- **Geldart D.** Types of gas fluidization. *Powder Technol.* 1973; 7: 285-293.
- **Glor M.** Electrostatic Hazards in Powder Handling. (*John Wiley & Sons*, New York, 1988); 425-440.
- **Herrera CA, Levy EK.** Bubbling characteristics of sound-assisted fluidized beds. *Powder Technol.* 2001; 119: 229-240.
- **Hristov JY.** Magnetic field assisted fluidization - A unified approach. Part 1. Fundamentals and relevant hydrodynamics. *Rev. Chem. Eng.* 2002; 18: 295-509.
- **Johnson TW and Melcher JR.** Electromechanics of Electrofluidized Beds. *Ind. Eng. Chem., Fundam.* 1975; 14: 146-153.
- **Kleijn van Willigen F et al.** Discrete particle simulations of an electric-field enhanced fluidized bed. *Powder Technology* 2008; 183: 196-206.
- **Kunkel WB.** The static electrification of dust particles on dispersion into a cloud. *J. App. Phys.* 1950; 21: 820-832.
- **Nam C, Pfeffer R, Dave RN, Sundaresan S.** Aerated vibrofluidization of silica nanoparticles. *AIChE J.* 2004; 50: 1776-1785.
- **Pfeffer R, Nam C H, Dave R N, Liu G, Quevedo J A, Yu Q, Zhu C** (inventors). Fluidizing nanoparticles to manufacture e.g. catalysts involves exposing nanoparticle feedstock to a flow of fluidizing gas and an additional force/pre-treatment e.g. magnetic force, to reduce agglomerate size distribution of the feedstock. WO2005022667-A2 (28 Jul 2004). Patent Assignee: New Jersey Inst. Technology.
- **Qian G, Bagyi I, Burdick IW, Pfeffer R, Shaw H.** Gas-solid fluidization in a centrifugal field. *AIChE J.* 2001; 47: 1022-1034.
- **Quevedo JA, Pfeffer R, Shen Y, Dave R, Nakamura H and Watano S.** Fluidization of Nanoagglomerates in a Rotating Fluidized Bed. *AIChE J.* 2006; 52: 2401-2412.
- **Quevedo JA, Flesch J, Pfeffer R, Dave R.** Evaluation of assisting methods on fluidization of hydrophilic nanoagglomerates by monitoring moisture in the gas phase. *Chem. Eng. Sci.* 2007; 62: 2608-2622.

ES 2 341 934 B1

- **Sachsse F.** The electrical characteristics of powder and mist. *Ann. d. Physik* 1932; 14: 396-412.

- **Segre PN, Liu F, Umbanhowar P, Weitz DA.** An effective gravitational temperature for sedimentation. *Nature* 2001; 409:594.

- **Seville JPK, Clift RC.** The effect of thin liquid layers on fluidization characteristics. *Powder Technol.* 1984; 37: 117-129.

- **Valverde JM, Ramos A, Castellanos A and Watson PK.** The tensile strength of cohesive powders and its relationship to consolidation, free volume and cohesivity. *Powder Tech.* 1998; 97: 237-245.

- **Valverde JM, Castellanos A, and Quintanilla MAS.** Effect of vibration on the stability of a gas-fluidized bed of fine powder. *Phys. Rev. E.* 2001a; 64: 021302.

- **Valverde JM, Castellanos A and Quintanilla MAS.** Self-diffusion in a gas-fluidized bed of fine powder. *Phys. Rev. Lett.* 2001b; 86: 3020-3023.

- **Valverde JM, Quintanilla MAS, Castellanos A, Lepek D, Quevedo J, Dave RN, Pfeffer R.** Fluidization of fine and ultrafine particles using nitrogen and neón as fluidizing gases. *AIChE J.* 2008 (a); 54: 86-103.

- **Valverde JM, Quintanilla MAS, Espin MJ, Castellanos A.** *Phys. Rev. E* 2008 (b). En revisión.

- **Van Willigen FK, van Ominen JR, van Turnhout J, van den Bleek CM.** Bubble size reduction in electric-field-enhanced fluidized beds *J. Electrostatics* 2005; 63: 943-948.

- **Xie HY, Geldart D.** Fluidization of FCC powders in the bubble-free regime: effect types of gases and temperature. *Powder Technol.* 1995; 82: 269-277.

- **Xu C, Zhu J.** Parametric study of fine particle fluidization under vibration. *Powder Technol.* 2006; 161: 135-144.

- **Yu Q., Dave R.N., Zhu C., Quevedo J.A., and Pfeffer R.** Enhanced fluidization of nanoparticles in an oscillating magnetic field. *AIChE J.* 2005; 51: 1971-1979.

- **Zhu C, Liu G, Yu Q, Pfeffer R, Dave R, Nam C.** Sound assisted fluidization of nanoparticle agglomerates. *Powder Technol.* 2004; 141: 119-123.

- **Zhu C, Yu Q, Dave RN, Pfeffer R.** Gas fluidization characteristics of nanoparticle agglomerates. *AIChE J.* 2005; 51: 426-439.

Ejemplos

Ejemplo 1

A continuación se muestran resultados experimentales que ilustran como la aplicación de un campo eléctrico oscilante, de acuerdo con el montaje experimental ilustrado en la figura 1, produce un incremento de la expansión de un polvo ultrafino en el estado de fluidización.

Es estos experimentos se ha usado una celda cilíndrica, fabricada en policarbonato, de diámetro interno 2,54 cm y altura 16,2 cm. La celda posee en su base una placa metálica porosa de acero inoxidable sinterizado (con un tamaño de poro en torno a las 5 micras) que soporta el polvo y distribuye el flujo de gas a través de éste. El flujo de gas (aire seco) es controlado mediante un controlador de flujo MKS (modelo 179A) en un rango de 0 a 2000 cm³/min. La celda se encuentra situada entre dos electrodos y la placa porosa de 3 cm de lado. La distancia típica entre los electrodos es de 7,6 cm. Uno de los electrodos se encuentra conectado a tierra mientras el otro electrodo se conecta a un amplificador de potencial (modelo Trek 20/20A) que amplifica en un factor de 2000 la señal suministrada por un generador de pulsos. En los experimentos descritos en este ejemplo se ha usado una forma de onda cuadrada.

Usando este dispositivo hemos observado el comportamiento del lecho fluido sometido a campos alternos de amplitud máxima $E=1,5 \times 10^5$ V/m y frecuencia en el rango de 5 a 1000 Hz. En nuestro montaje, existe una separación entre el borde inferior de los electrodos y la placa porosa de 3 cm. Se ha usado este intervalo de seguridad para evitar problemas eléctricos asociados al carácter metálico de la placa porosa. Este dato hay que tenerlo en cuenta ya que prácticamente el polvo no sentirá el campo aplicado hasta que se expanda hasta una altura h por encima de esta altura (unos 3 cm). Una forma de evitar este inconveniente es usar placas porosas no metálicas que permitan aplicar el campo a lo largo de la entera extensión de la celda.

El polvo ultrafino empleado para mostrar el efecto del campo eléctrico oscilante ha sido Aerosil® R974, formado por nanopartículas de dióxido de silicio. El tamaño y la densidad de las partículas primarias son $d_p=12$ nm y $\rho_p=2250$ kg/m³, respectivamente. La masa de polvo usada m es de alrededor de 0,2 gramos. La altura de la capa de polvo

sedimentada en la celda es de $h_0=0,5$ cm. El valor medido de la expansión relativa $\Delta H/H_0$, donde H_0 es la altura del lecho fluidizado sin campo eléctrico y ΔH es su incremento de altura al aplicar el campo, es un dato objetivo que permite evaluar la calidad del estado de fluidización.

5 Cuanto mayor es la expansión del lecho fluido, mayor es el grado de mezcla entre las fases sólida y gaseosa.

10 Esto indica una disminución del tamaño típico de las burbujas de gas así como una posible disminución del tamaño típico de los aglomerados. Para el polvo Aerosil® R974, que presenta una fluidización uniforme a simple vista en ausencia de campo eléctrico aplicado, el tamaño típico de las burbujas de gas D_b puede estimarse en torno a 10 veces, como máximo, el tamaño típico de los aglomerados de partículas (del orden de cientos de micras), es decir D_b del orden de 1 mm.

15 Los resultados experimentales quedan resumidos en la figura 2, donde se muestra la expansión relativa $\Delta H/H_0$ del lecho fluidizado a una velocidad superficial del gas fija $v_g=2,7$ cm/s. El protocolo de cada medida consiste en primero aplicar el flujo de gas. Una vez que el lecho fluido alcanza el estado estacionario se mide el valor de H_0 . Posteriormente, se aplica el campo eléctrico de intensidad dada para una frecuencia determinada. Una vez alcanzado el estado estacionario se mide la variación de la altura ΔH . Seguidamente, se desconecta el campo eléctrico y, tras alcanzar el estado estacionario, se mide la altura alcanzada sin campo aplicado (normalmente esta altura es algo menor que la inicial debido a la elutriación de partículas). Se aplica, de nuevo, un campo de intensidad mayor para la misma frecuencia y se mide el incremento de altura. Este ciclo se repite hasta que para los campos más intensos es difícil apreciar a simple vista la superficie libre debido a la muy elevada porosidad del material fluidizado (alrededor del 99,9% del volumen del polvo fluidizado). Estas medidas se realizan para frecuencias en el rango de 5 a 1000 Hz.

25 Puede observarse en los resultados obtenidos (figura 2) que es posible encontrar parámetros del campo aplicado que dan lugar a una mayor expansión del lecho fluido. Esto implicaría una mejora en la eficiencia de los procesos industriales en los se emplea la fluidización de este polvo si la técnica propuesta fuera aplicada. En el ejemplo que aquí se ilustra encontramos que la expansión del lecho fluido crece de forma monótona con la intensidad del campo.

30 La expansión inducida por el campo comienza a ser apreciable a partir de valores del campo alrededor de 10^5 V/m, mientras que existe una frecuencia de rendimiento óptimo en torno a 20 Hz en la que se llega a conseguir una expansión relativa del 20% para un campo de 1,3 kV/cm. Para frecuencias inferiores a 10 Hz o superiores a 200 Hz el efecto del campo es menos notable y en concreto para 5 Hz y 1000 Hz es poco apreciable. Estos resultados están de acuerdo con las estimaciones teóricas hechas para este polvo en el apartado de descripción detallada de la patente.

35 Ejemplo 2

40 Es conocido que existe una correlación directa entre el coeficiente de difusión efectivo de las partículas en fluidización y el grado de expansión del lecho fluido (Valverde *et al.*, 2001b). La aplicación de campos eléctricos oscilantes ayuda a la expansión del lecho a través del incremento en el grado de agitación de las partículas y, consecuentemente, de su coeficiente de difusión efectivo. Esto es especialmente útil en aplicaciones en las que se pretenda usar el lecho fluido para la mezcla de sólidos o transferencia térmica. Así mismo, la técnica propuesta permitiría optimizar la descontaminación de gases mediante el uso de lechos fluidos. El incremento de la superficie de contacto efectiva gas-sólido, a través de la reducción del tamaño de los aglomerados y de las micro-burbujas, permitiría que las partículas cargadas contaminantes del gas fuesen atraídas por los aglomerados cargados con una mayor efectividad.

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fluidización de polvos que comprende:

- hacer pasar un flujo de gas (4) ascendente en sentido contrario al sentido de la gravedad (g) a través de una placa porosa (5) por un lecho de polvo (6) dispuesto sobre dicha placa porosa (5) en una cámara de fluidización (10), comprendiendo el lecho de polvo (6) al menos un polvo seleccionado entre polvos finos que comprenden partículas primarias con un tamaño típico entre 1 y 20 micras, polvos ultrafinos que comprenden partículas primarias con un tamaño típico entre 1 y 1000 nm, y mezclas de los mismos; y

- simultáneamente someter el lecho de polvo (6) a un tratamiento de agitación para reducir el efecto de la cohesión entre dichas partículas;

caracterizado porque el tratamiento de agitación comprende aplicar sobre dicho lecho al menos un campo eléctrico oscilante (9).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicho flujo de gas se aplica en sentido contrario al sentido de la gravedad.

3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado** porque el campo eléctrico (9) es un campo eléctrico variable en el tiempo.

4. Procedimiento según las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque el campo eléctrico (9) es un campo eléctrico no homogéneo en el espacio.

5. Procedimiento de fluidización de polvos según las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque el campo eléctrico (9) presenta una mayor intensidad en la cercanía de dicha placa porosa (5).

6. Una instalación para fluidificación asistida de un lecho de polvo que comprende al menos un polvo seleccionado entre polvos finos que comprenden partículas primarias con un tamaño típico entre 1 y 20 micras, polvos ultrafinos que comprenden partículas primarias con un tamaño típico entre 1 y 1000 nm, y mezclas de los mismos, que comprende

- una cámara de fluidización (10) delimitada interiormente por una placa porosa (5) destinada a soportar el lecho de polvo (6);

- una entrada de gas (11) situada debajo de la placa porosa (5) y una salida de gas (12) situada por encima de la placa porosa (5);

- medios agitadores para someter el lecho de polvo (6) a agitación;

caracterizada porque los medios agitadores comprenden medios generadores (7,8) de un campo eléctrico oscilante (9) que atraviesa el lecho de polvo.

7. Una instalación según la reivindicación 6, **caracterizada** porque dicha entrada de gas está situada en la parte inferior de la cámara y dicha salida de gas, en la parte superior.

8. Una instalación según las reivindicaciones 6 ó 7, **caracterizada** porque dichos medios generadores (7,8) son susceptibles de generar un campo eléctrico (9) variable en el tiempo.

9. Una instalación según una de las reivindicaciones 6 a 8, **caracterizada** porque dichos medios generadores (7,8) son susceptibles de generar un campo eléctrico (9) no homogéneo en el espacio.

10. Una instalación según una de las reivindicaciones 6 a 9, **caracterizada** porque dichos medios generadores (7,8) son susceptibles de generar un campo eléctrico (9) que presenta una mayor intensidad en la cercanía de dicha placa porosa (5).

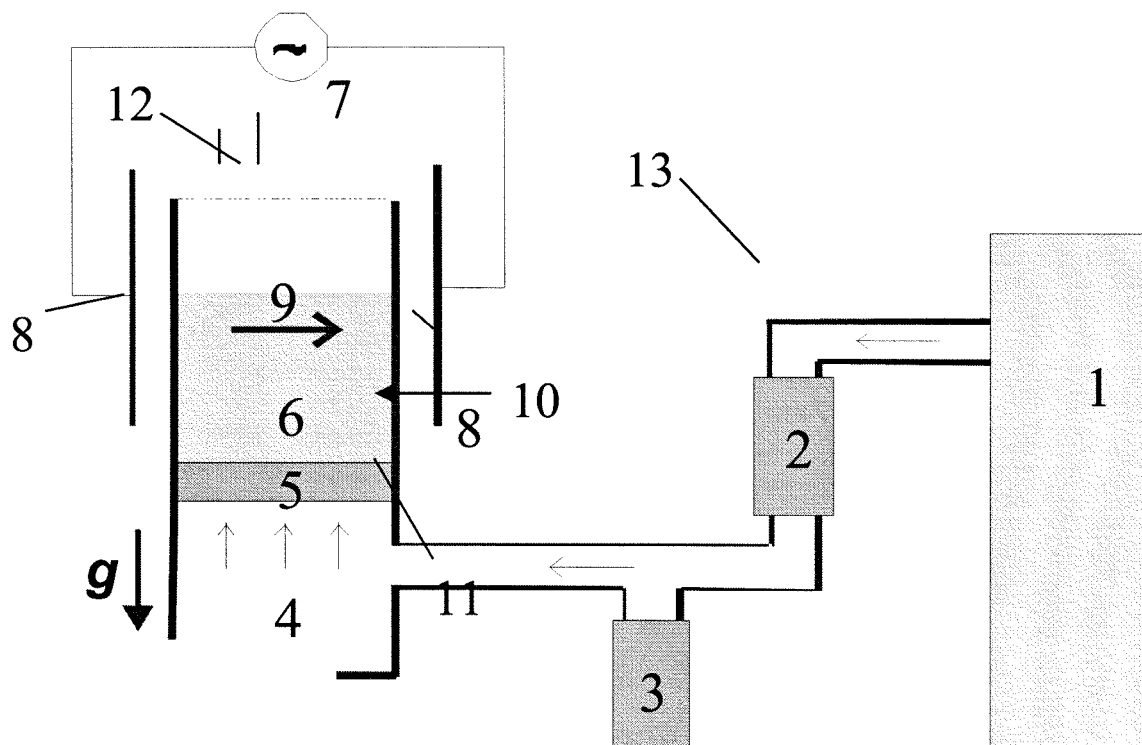


FIG. 1

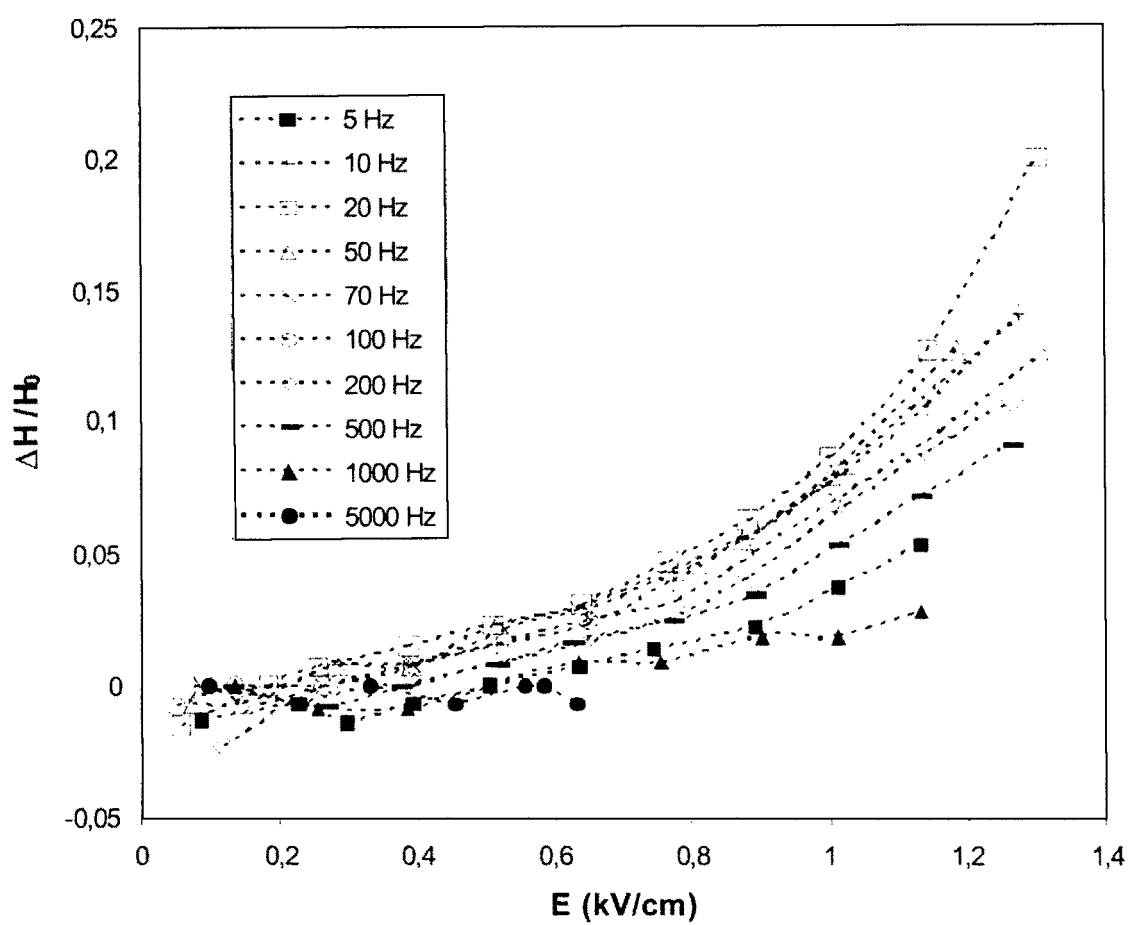


FIG. 2



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 341 934

⑫ Nº de solicitud: 200802055

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 10.07.2008

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: B01J 8/42 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑯ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	US 2006086834 A1 (PFEFFER, ROBERT et al.) 27.04.2006, párrafos [0020]-[0028], [0097]-[0103]; figura 2.	1-4,6-9
Y	G.M. Colver, "Bubble control in gas-fluidized beds with applied electric fields, Powder Technology", Volumen 17, mayo-junio 1977, páginas 9-18, ISSN 0032-5910, todo el documento.	1-4,6-9
A	Kleijn van Willigen, Flip et al., "Bubble Size Reduction in a Fluidized Bed by Electric Fields", International Journal of Chemical Reactor Engineering: Vol. 1: A21, 2003, ISSN 1542-6580, todo el documento.	1-10
A	Kashyap, Mayank et al., "Effect of electric field on the hydrodynamics of fluidized nanoparticles", Powder Technology, Volumen 183, abril 2008, páginas 441-453, ISSN 0032-5910, todo el documento.	1,2,6,7
A	US 3304249 A (KATZ, HERBERT) 14.02.1967, todo el documento.	1,6
A	FR 1332820 A (BERNARD, GEORGES) 19.07.1963, todo el documento.	1,6
A	US 4143469 A (KAMHOLZ, KENNETH) 13.03.1979, todo el documento.	1,6
A	US 3439899 A (HERSHLER, ABE) 22.04.1969, todo el documento.	1,6

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

15.06.2010

Examinador

D. Hermida Cibeira

Página

1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B01J

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 15.06.2010

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1-10	SÍ
	Reivindicaciones		NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	5, 10	SÍ
	Reivindicaciones	1-4, 6-9	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial**. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión:

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

1. Documentos considerados:

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2006086834 A1	27-04-2006
D02	G. M. Colver, "Bubble control in gas-fluidized beds with applied electric fields"	1977

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

La presente invención se refiere a la fluidización de polvos finos y ultrafinos asistida por campos eléctricos oscilantes.

Se considera que el documento D01 es el más cercano del estado de la técnica al objeto de las reivindicaciones 1 y 6. En dicho documento, al cual pertenecen las referencias numéricas que siguen, se describe un sistema y procedimiento para la fluidización de nanopartículas y nanoaglomerados. Dicho procedimiento comprende hacer pasar un flujo de gas ascendente a través de una placa porosa (12) por un lecho de polvo en una cámara de fluidización (14) (ver figura 2) que cuenta con una entrada de gas inferior y una salida de gas superior (16). Dicho lecho de polvo está formado por nanopartículas (párrafos [0027], [0077]). Además, dicho lecho de polvo se somete a un tratamiento de agitación que reduce el efecto de la cohesión entre partículas (párrafo [0020]). Dicho tratamiento de agitación es llevado a cabo mediante la aplicación genérica de fuerzas adicionales al lecho fluidizado. En particular, dicho tratamiento de agitación puede consistir en un campo magnético oscilante que actúa sobre partículas magnéticas añadidas al lecho de polvo (párrafos [0097]-[0103]). Se observa que, a diferencia de lo especificado en las reivindicaciones 1 y 6, en la invención del documento D01 el tratamiento de agitación no consiste en la aplicación de un campo eléctrico oscilante. Debido a esta diferencia encontrada se considera que las reivindicaciones 1, 6 y sus reivindicaciones dependientes 2-5, 7-10 son nuevas.

En relación con la actividad inventiva de las reivindicaciones 1 y 6, se considera que un experto en la materia combinaría de forma obvia los documentos D01 y D02 a fin de reproducir el objeto de las mencionadas reivindicaciones, sustituyéndose en la invención del documento D01 la aplicación de un campo magnético oscilante por la aplicación de un campo eléctrico oscilante como alternativa de diseño. En efecto, en dicho documento D02, al cual pertenecen las referencias numéricas que siguen, se describe la aplicación de un campo eléctrico oscilante a un lecho fluidizado con el objetivo de reducir la formación de burbujas, mejorando así la estabilidad de la fluidización (resumen; figuras 7, 8). De acuerdo con lo expuesto en el párrafo anterior se estima que las reivindicaciones 1 y 6 carecen de actividad inventiva. Igualmente se considera que las reivindicaciones 2-4 y 7-9 carecen de actividad inventiva, ya que resultan evidentes debido a su simplicidad o excesiva generalidad.

Por el contrario, se considera que las reivindicaciones 5 y 10 sí tienen actividad inventiva.