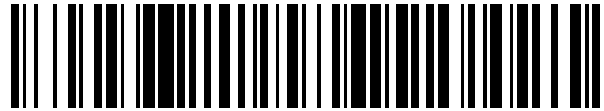


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 920 350**

51 Int. Cl.:

B03C 7/12

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.03.2019 PCT/FR2019/050518**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.09.2019 WO19171011**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2019 E 19714711 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2022 EP 3762148**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de separación electrostática de materiales granulares**

30 Prioridad:

07.03.2018 FR 1851983

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

03.08.2022

73 Titular/es:

UNIVERSITÉ DE POITIERS (50.0%)

15, rue de l'Hôtel Dieu

86000 Poitiers, FR y

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (50.0%)**

72 Inventor/es:

DASCALESCU, LUCIEN;

ZEGHLOUL, THAMI y

MEDLES, KARIM

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 920 350 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo de separación electrostática de materiales granulares

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere, de manera general, a un procedimiento que permite la clasificación de mezclas de materiales granulares que tienen características eléctricas diferentes (varios no conductores o varios conductores y no conductores o, incluso, varios conductores) usando las fuerzas del campo eléctrico, las fuerzas aerodinámicas y la gravedad. La presente invención se refiere igualmente a un dispositivo que permite la puesta en práctica de un procedimiento de este tipo.

El procedimiento según la invención se aplica, en particular, a la separación de materiales granulares de tamaño milimétrico y submilimétrico (normalmente, partículas cuyo diámetro equivalente está comprendido entre 50 μm y 2 mm), en las industrias del reciclaje, minería, farmacéutica y agroalimentaria.

Estado de la técnica

Las técnicas de separación electrostática de las mezclas de materiales granulares de tamaños medios superiores a 1 mm han experimentado desarrollos significativos en las dos últimas décadas y se usan ampliamente en la industria.

Por el contrario, en la actualidad, la separación de las partículas más finas resulta más complicada de poner en práctica, a causa de las perturbaciones inducidas por las fuerzas aerodinámicas, cuyos efectos sobre las partículas micronizadas (de tamaño inferior a 500 μm) superan los inducidos por las fuerzas eléctricas.

Los separadores electrostáticos de tambor son la solución elegida para el tratamiento de las mezclas de materiales conductores y no conductores granulares de tamaño milimétrico. También pueden usarse para la separación de mezclas granulares de tamaño milimétrico de varios materiales no conductores, previamente cargados mediante efecto triboeléctrico^[1], o de varios materiales conductores, basándose en las diferencias de masa volumétricas entre los constituyentes^[2]. Estos separadores se usan igualmente para la separación de mezclas submilimétricas, concretamente, para el tratamiento de minerales. No obstante, los caudales de materiales que van a tratarse son bajos, debiendo dispersarse las partículas para formar una monocapa en la superficie del tambor.

Por otro lado, el experto en la técnica conoce usar separadores triboelectrostáticos de caída libre para la clasificación de las mezclas de materiales granulares no conductores de tamaño mayor (normalmente, de 1 a 8 mm). Estos separadores incluyen un dispositivo que recurre al efecto triboeléctrico para cargar los materiales granulares, antes de dejarlos caer a través de una zona de campo eléctrico intenso, creado entre dos electrodos verticales, estando uno conectado a un generador de alto voltaje y el otro a un generador de alto voltaje de polaridad opuesta o a la tierra. Estos separadores no son adecuados para tratar partículas de tamaños submilimétricos, ya que las fuerzas aerodinámicas y/o de adhesión a los electrodos serían demasiado importantes y limitarían fuertemente la acción del campo eléctrico.

En otros separadores triboelectrostáticos industriales conocidos por el experto en la técnica, las partículas cargadas o bien por efecto triboeléctrico o bien por descarga de tipo corona, se depositan en monocapa en la superficie de un transportador de cinta metálica conectado a la tierra. La clasificación de estas partículas se efectúa en el campo eléctrico creado entre esta cinta metálica y un electrodo cilíndrico, conectado a una alimentación de alto voltaje y situado por encima del transportador. Este tipo de separador se usa igualmente para la clasificación de las mezclas granulares de tamaños submilimétricos (normalmente, de 0,25 a 1 mm), pero únicamente en condiciones de laboratorio, ya que la productividad al final de la clasificación de un separador de este tipo está limitada por la restricción de depositar las partículas en monocapa en la superficie del electrodo de cinta.

Por último, recientemente se han desarrollado soluciones específicas para el tratamiento de determinadas mezclas granulares de materiales no conductores de tamaños submilimétricos.

Así, en un separador triboelectrostático que puede usarse en la industria agroalimentaria^{[3],[4]}, las partículas se cargan mediante frotamiento, atravesando un tubo metálico bajo la acción del aire comprimido, antes de pasar, siempre en un flujo de aire rigurosamente controlado, en un campo eléctrico creado entre dos electrodos verticales de polaridades opuestas. Las partículas recogidas en los dos electrodos se aspiran en colectores de tipo ciclón. Un separador de este tipo necesita la limpieza periódica de los electrodos, lo cual hace que no pueda usarse en régimen de funcionamiento continuo, en un contexto industrial.

En otros modelos de separadores, definidos como "tribo-aero-electrostáticos"^{[5],[6]}, la carga de las partículas no conductoras se produce en un lecho fluidizado, en presencia de un campo eléctrico producido entre dos electrodos de discos giratorios^{[7],[8]}, entre dos electrodos cilíndricos giratorios^[9], o entre dos electrodos de placas metálicas^[10],

ejecutando movimientos de vaivén en dirección vertical, al tiempo que están conectados a dos alimentaciones de polaridades opuestas. Las partículas se adhieren a los electrodos de polaridades opuestas, que los evacúan hacia los colectores. Estas instalaciones se han usado en condiciones de laboratorio, en régimen intermitente, impuesto por la necesidad de recuperar las partículas que quedan sin separar en el lecho fluidizado. Las perspectivas de uso industrial de estas instalaciones también son limitadas por la dificultad de garantizar la estanqueidad de la cámara de fluidización.

El documento US-6498313B1 divulga un dispositivo de separación electrostática según el preámbulo de la reivindicación independiente 11.

10 Descripción de la invención

Para resolver los defectos e inconvenientes anteriormente mencionados, el solicitante ha preparado un procedimiento y un dispositivo de separación electrostática que usan simultáneamente fuerzas del campo eléctrico, aerodinámicas y de la gravedad que se ejercen sobre partículas cargadas en un campo eléctrico intenso generado mediante voltaje continuo de varios miles de voltios (normalmente, superiores a 5 kV e inferiores a 120 kV) aplicado a dos cilindros verticales coaxiales, fijos o giratorios. La mezcla granular que va a separarse, constituida por partículas procedentes de varios materiales no conductores, o de varios materiales conductores y no conductores o, incluso, de varios materiales conductores, debe cargarse previamente en dispositivos de carga (mediante descarga de tipo corona, mediante inducción electrostática o mediante efecto triboeléctrico). A continuación, se transfieren las partículas cargadas de manera continua por un flujo de aire descendente de caudal controlado y por la fuerza de la gravedad en el campo eléctrico creado entre los dos electrodos cilíndricos coaxiales. Atraídas por los electrodos de polaridades opuestas, las partículas se adhieren a la superficie de los mismos. Un sistema mecánico de limpieza (cepillos o raspadores), fijo, si los cilindros giran, o móvil, en el caso contrario, desprende las partículas de la superficie de los electrodos y facilita su aspiración en colectores de tipo ciclón. Así, gracias al dispositivo y al procedimiento de separación electrostática según la invención, la limpieza de los electrodos y la recogida de los productos pueden realizarse de manera continua, en una instalación estanca, permitiendo el tratamiento de las mezclas granulares de tamaño milimétrico o submilimétrico. Más particularmente, la presente invención tiene por objeto un procedimiento de separación electrostática de un material granular que comprende partículas (que pueden ser de materiales de diferentes naturalezas) que presentan un diámetro equivalente comprendido entre 50 μm y 2 mm, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

- A. introducir a caudal constante dicho material granular en un dispositivo de carga que permite cargar dichas partículas, en función de su naturaleza; después cargar dichas partículas;
- B. generar un campo eléctrico E entre dos electrodos cilíndricos coaxiales verticales de eje OZ dispuestos en una cámara de separación, variando la intensidad de E entre 1 kV/cm y 10 kV/cm,
 - descomponiéndose los dos electrodos cilíndricos en un electrodo cilíndrico interior de diámetro exterior d_{ie} y un electrodo cilíndrico exterior de diámetro interior d_{ei} ,
 - estando dichos electrodos cilíndricos conectados a un generador de alto voltaje continuo (es decir, normalmente, superior a 5 kV e inferior a 120 kV) de polaridad positiva o negativa, estando uno de dichos electrodos conectado al terminal positivo de dicho generador y estando el otro de dichos electrodos conectado a su terminal negativo o a la tierra;
 - con el fin de crear una zona de campo eléctrico que tiene la forma de una capa cilíndrica de grosor e (normalmente, del orden de 40 mm a 160 mm) que responde a la fórmula (1):

$$(1) \quad e = (d_{ei} - d_{ie}) / 2;$$

- C. generar, por aspiración, en dicha zona de campo eléctrico, un flujo de aire vertical descendente, preferiblemente, de caudal controlado, y perpendicular a la dirección del campo eléctrico E, y cuyo efecto combinado al de la gravedad permite la transferencia de manera continua de dichas partículas, una vez cargadas a través de dicha zona de campo eléctrico;
- D. desplazar dichas partículas cargadas, cuando se encuentran en dicha zona de campo eléctrico, hacia los electrodos de polaridades opuestas, para adherirse a los mismos;
- E. desprender de manera continua, con la ayuda de los medios mecánicos de limpieza (por ejemplo, cepillos o raspadores flexibles), de la superficie de los electrodos, dichas partículas que se adhieren a la superficie de los electrodos, pudiendo moverse dichos medios mecánicos de limpieza, en rotación, alrededor del eje OZ central vertical de los electrodos y estando dichos electrodos fijos, o a la inversa (dicho de otro modo, los electrodos pueden moverse en rotación alrededor de su eje OZ, mientras que los medios mecánicos de limpieza son fijos);

F. evacuar de manera continua dichas partículas desprendidas, bajo la acción conjugada de la gravedad y de dicho flujo de aire vertical; después

G. recuperar dichas partículas.

5 De manera alternativa, en la etapa B de generación del campo eléctrico E, los electrodos cilíndricos pueden estar conectados a generadores de alto voltaje continuo (es decir, normalmente, superior a 5 kV e inferior a 120 kV) de polaridades positiva y negativa, estando uno de los electrodos conectado a una de las polaridades de dichos generadores, mientras que el otro electrodo está conectado a la otra polaridad o a la tierra.

10 Según un primer modo de realización del procedimiento según la invención (ilustrado en la Figura 1), el material granular que se pretende separar puede comprender únicamente partículas no conductoras de electricidad. En este caso, la carga de las partículas podrá realizarse mediante efecto triboeléctrico en un cargador triboeléctrico que se comunica con la cámara de separación, a través de un distribuidor cónico.

15 Según un segundo modo de realización del procedimiento según la invención (ilustrado en la Figura 2), el material granular que se pretende separar puede comprender una mezcla de partículas no conductoras de la electricidad y de partículas conductoras. En este caso, la carga de las partículas podrá realizarse en un cargador por efecto corona, situado aguas arriba de dichos electrodos. El efecto corona se produce en las inmediaciones de electrodos de bajo radio de curvatura (puntas), sometidos al alto voltaje continuo generado por el generador de voltaje, en cuanto el campo eléctrico E en su superficie de dichos electrodos se vuelve suficientemente grande (aproximadamente 30 kV/cm), como para que el aire se ionice y forme alrededor una corona luminosa.

20 Según un tercer modo de realización del procedimiento según la invención (ilustrado en la Figura 3), el material granular que se pretende separar puede comprender una mezcla de partículas conductoras de la electricidad. En este caso, la carga de las partículas podrá realizarse mediante inducción electrostática creada por el campo eléctrico E generado entre los electrodos cilíndricos. La diferencia entre las resistividades eléctricas de superficie de los materiales, conduce a cargas eléctricas diferentes de las partículas que se atraen más o menos por el electrodo cilíndrico, dando así lugar a su separación. Las trayectorias de las partículas se ven afectadas igualmente por las masas volumétricas diferentes.

25 De manera ventajosa, las partículas que van a separarse pueden presentar un diámetro comprendido entre 0,125 mm y 2 mm.

35 De manera ventajosa, la intensidad del campo eléctrico E intenso podrá estar comprendida entre 4 kV/cm y 5 kV/cm.

De manera ventajosa, las partículas, una vez cargadas al final de la etapa A del procedimiento según la invención, se introducen en la zona de campo eléctrico, en forma de una capa cilíndrica de grosor comprendido entre 1 mm y 5 mm, según el tamaño de las partículas que componen la mezcla que va a tratarse.

40 De manera ventajosa, la etapa de recuperación F) de las partículas que van a separarse puede realizarse en un sistema colector, recuperándose dichas partículas en compartimentos intermedios del sistema colector, siendo dichos compartimentos intermedios cilíndricos, coaxiales con los electrodos y estando cada uno conectado a un aspirador - ciclón.

45 De manera ventajosa, el procedimiento según la invención podrá comprender, además, una etapa de transferencia de las partículas que van a separarse de los compartimentos intermedios hacia compartimentos terminales del sistema colector, a través de los aspiradores-ciclones.

50 La presente invención también tiene por objeto un dispositivo de separación electrostática que permite la puesta en práctica del procedimiento según la invención. Más particularmente, la presente invención tiene por objeto un dispositivo de separación electrostática de un material granular que comprende partículas que presentan un diámetro comprendido entre 50 μm y 2 mm, y preferiblemente comprendido entre 0,125 mm y 2 mm, comprendiendo el dispositivo:

- 55
- un dispositivo para cargar las partículas que van a separarse;
 - una cámara de separación que comprende dos electrodos cilíndricos coaxiales verticales de eje OZ que se descomponen en
- 60
- un electrodo cilíndrico interior de diámetro exterior d_{ie} y un electrodo cilíndrico exterior de diámetro interior d_{ei} ,
 - estando los electrodos cilíndricos conectados a generadores de alto voltaje continuo, estando uno de los electrodos conectado al terminal positivo de dicho generador y estando el otro de los electrodos conectado a su terminal negativo, de manera que puede generarse un campo eléctrico E,
- 65

- medios de producción por aspiración, en la cámara de separación, de un flujo de aire vertical descendente perpendicular a la dirección del campo eléctrico E,
- 5 • medios mecánicos de limpieza de la superficie de los electrodos, pudiendo moverse los medios mecánicos de limpieza, en rotación, alrededor del eje vertical OZ y siendo los electrodos fijos o a la inversa (es decir, dicho de otro modo, los electrodos pueden moverse en rotación alrededor del eje vertical OZ, mientras que los medios mecánicos de limpieza son fijos);
- 10 • un dispositivo de recuperación de las partículas.

De manera alternativa, los electrodos cilíndricos de la cámara de separación pueden estar conectados a generadores de alto voltaje continuo de polaridades positiva y negativa, estando uno de los electrodos conectado a una de las polaridades de dichos generadores y estando el otro electrodo conectado a la otra polaridad o a la tierra, de manera que puede generarse un campo eléctrico E.

El material granular destinado a separarse en el dispositivo según la invención, es tal como se definió anteriormente.

Según un primer modo de realización del dispositivo de separación electrostática según la invención, el dispositivo de carga podrá ser, ventajosamente, un cargador triboeléctrico que se comunica con la cámara de separación, a través de un distribuidor cónico.

Según un segundo modo de realización del dispositivo de separación electrostática según la invención, el dispositivo de carga podrá ser, ventajosamente, un cargador por efecto corona y por inducción electrostática situado en la cámara de separación, aguas arriba de los electrodos, realizándose la alimentación con materia de dicho dispositivo de carga, a través de un distribuidor cónico.

Según un tercer modo de realización del dispositivo de separación electrostática según la invención, el dispositivo de carga podrá ser, ventajosamente, un cargador por inducción electrostática situado en la cámara de separación, aguas arriba de los electrodos, realizándose la alimentación con materia de dicho dispositivo de carga, a través de un distribuidor cónico.

A título de medios mecánicos de limpieza de la superficie de los electrodos, pueden usarse, en el dispositivo de separación electrostática según la invención, cepillos o raspadores. De manera ventajosa, los medios de producción del flujo de aire vertical descendente pueden ser aspiradores de tipo ciclón, preferiblemente, de caudal controlado, que permiten, además, la recuperación de dichas partículas en el sistema colector.

De manera ventajosa, el dispositivo de recuperación de las partículas puede ser un sistema colector de productos que comprende:

- dos compartimentos intermedios cilíndricos, coaxiales con el sistema de electrodos y conectados a los aspiradores-ciclones;
- dos compartimentos terminales, hacia los cuales se transfieren las partículas desde los compartimentos intermedios, a través de dichos aspiradores-ciclones.

De manera ventajosa, el dispositivo de separación electrostática según la invención, puede comprender, además, aguas arriba del dispositivo de carga, un dosificador de material granular adecuado para controlar su caudal.

Otras ventajas y particularidades de la presente invención se desprenderán de la siguiente descripción, facilitada a título de ejemplo no limitativo y hecha haciendo referencia a las figuras adjuntas:

- la Figura 1A representa una vista esquemática en sección longitudinal de un dispositivo de separación electrostática según la invención, de acuerdo con el primer modo de realización (con cargador triboeléctrico); la Figura 1B es una vista esquemática en sección según el eje A-A del dispositivo ilustrado en la Figura 1A;
- la Figura 2A representa una vista esquemática en sección longitudinal de un dispositivo de separación electrostática según la invención, de acuerdo con el segundo modo de realización (con cargador por efecto corona); la Figura 2B es una vista esquemática en sección según el eje A-A del dispositivo ilustrado en la Figura 2A;
- la Figura 3A representa una vista esquemática en sección longitudinal de un dispositivo de separación electrostática según la invención, de acuerdo con el tercer modo de realización (con carga mediante inducción electrostática); la Figura 3B es una vista esquemática en sección según el eje A-A del dispositivo ilustrado en la Figura 3A,

- la Figura 4 representa una vista esquemática en sección de un dosificador de tornillo para controlar el caudal de material granular en el dispositivo de carga;
- 5 - la Figura 5 representa una vista esquemática en sección de un dispositivo de ciclón-colector que comprende un aspirador de tipo ciclón y un compartimento para recoger las partículas;
- la Figura 6 es una fotografía que muestra un prototipo rudimentario del separador según la invención (sin sistema de limpieza de los electrodos, ni sistema de aspiración, con electrodos fijos), que se ha puesto en práctica en el Ejemplo 1, para someter a prueba el principio de separación electrostática puesto en práctica en el procedimiento según la invención;
- 10 - la Figura 7 comprende tres fotografías que muestran el resultado de la separación electrostática de una mezcla de partículas que comprende el 50 % de partículas de ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) y el 50 % de partículas de PC (policarbonato), realizándose esta separación con el prototipo de la Figura 6: la Figura 7b muestra las partículas de ABS y de PP iniciales (antes de mezcla, después separación); la Figura 7a muestra las partículas recuperadas en el electrodo exterior 222; y la Figura 7c muestra las partículas recuperadas en el electrodo interior 221 (véase el Ejemplo 1);
- 15 - la Figura 8 comprende, igualmente, tres fotografías que muestran el resultado de la separación electrostática de una mezcla de partículas que comprende el 50 % de partículas de PP (polipropileno) y el 50 % de partículas de PC (policarbonato) de 125 µm de diámetro, realizándose esta separación con el prototipo de la Figura 6: la Figura 8a muestra las partículas de PP y de PC iniciales (antes de mezcla, después separación); la Figura 8b muestra las partículas recuperadas en el electrodo exterior 222; y la Figura 8c muestra las partículas recuperadas en el electrodo interior 221 (véase el Ejemplo 2);
- 20 - la Figura 9 comprende una fotografía que muestra un separador 3 tribo-aero-electrostático de discos de electrodos conocido de la técnica anterior (fotografía de la izquierda) y los resultados de la separación (fotografía de la derecha) de una mezcla de partículas que comprende el 50 % de partículas de PP y el 50 % de partículas de PC (véase el Ejemplo comparativo 1);
- 25 - la Figura 10 comprende una fotografía que muestra un separador 4 de caída libre conocido de la técnica anterior y los resultados de la separación de una mezcla de partículas que comprende el 50 % de partículas de ABS y el 50 % de partículas de PC (véase el Ejemplo comparativo 2);
- 30 - las Figuras 11, 12 y 13 presentan fotos de separación de una mezcla de partículas de cobre y de aluminio de 50 µm de diámetro compuesta por 1,4 g de cada material.
- la Figura 11 es una fotografía que muestra partículas de aluminio de color gris, recogidas en el electrodo cilíndrico interior del dispositivo ilustrado en las Figuras 2A y 2B (con cargador de tipo corona) (véase el Ejemplo 3);
- 35 - la Figura 12 es una fotografía que muestra un concentrado de cobre (es decir, que presenta contenido en cobre superior al 80 %), que contiene aproximadamente 0,25 g de aluminio y aproximadamente 0,95 g de cobre, recogándose este concentrado en las cubetas situadas en el extremo inferior del sistema de electrodos del dispositivo ilustrado en las Figuras 2A y 2B (con cargador de tipo corona) (véase el Ejemplo 3);
- 40 - la Figura 13 es una fotografía que muestra un producto mixto (es decir, que presenta un contenido en cobre inferior al 80 %) que comprende aproximadamente el 25 % de aluminio y el 75 % de cobre, recogándose este producto mixto en el electrodo exterior del dispositivo ilustrado en las Figuras 2A y 2B (con cargador de tipo corona) (véase el Ejemplo 3);
- 45
- 50

55 Las Figuras 1 a 5 se describen con más detalle a nivel de los modos de realización del dispositivo de separación según la invención, que ilustran la invención sin limitar su alcance. En estas figuras, los elementos idénticos se representan mediante referencias numéricas idénticas.

60 Las Figuras 6 a 13 se describen con más detalle a nivel de los siguientes ejemplos, que ponen en práctica los separadores ilustrados en las Figuras 6, 9 y 10.

Haciendo referencia a las Figuras 1, 2 y 3, un dispositivo de separación electrostática de un material granular 1 según la invención, comprende:

- 65 • un dispositivo 21 para cargar las partículas 11 y 12 que van a separarse del material granular 1;

ES 2 920 350 T3

- una cámara 22 de separación que comprende dos electrodos 221, 222 cilíndricos coaxiales verticales de eje OZ;
- medios 2250 de aspiración de tipo ciclón (cuyos detalles pueden verse únicamente en la Figura 4) que crean en la cámara 22 de separación un flujo 225 de aire vertical descendente,
- medios 226 mecánicos de limpieza de la superficie de los electrodos 221, 222 (por ejemplo, cepillos o raspadores), pudiendo moverse estos medios 226 mecánicos de limpieza en rotación alrededor del eje OZ y siendo los electrodos 221, 222 fijos o a la inversa;
- un sistema colector 23 que comprende dos de los compartimentos 231 y 232 intermedios, cilíndricos y coaxiales a los electrodos cilíndricos 221, 222, y dos compartimentos finales 233 y 234, para recuperar respectivamente las partículas 11 y 12 que van a separarse.

En los tres modos de realización ilustrados en las Figuras 1, 2 y 3, los aspiradores-ciclones 2250 permiten, además, la transferencia de las partículas 11 y 12 recogidas en los compartimentos intermedios 231 y 232 hacia los compartimentos finales 233 y 234.

El sistema de electrodos 221, 222 cilíndricos coaxiales verticales de eje Oz se descompone de la siguiente manera:

- un electrodo 221 cilíndrico interior de diámetro exterior d_{ie} , y
- un electrodo 222 cilíndrico exterior de diámetro interior d_{ei} .

Los electrodos cilíndricos 221, 222 están conectados a generadores de alto voltaje continuo de polaridades positiva y negativa, estando uno conectado a una de las polaridades de dichos generadores y estando el otro conectado a la otra polaridad o a la tierra, de manera que puede generarse un campo eléctrico E, que es perpendicular al flujo 225 de aire vertical descendente generado por los aspiradores-ciclones 2250.

La Figura 1 muestra, más particularmente, un primer modo de realización del dispositivo de separación electrostática según la invención, en donde el dispositivo 21 de carga es un cargador triboeléctrico 21 (por ejemplo, de vibraciones, de lecho fluidizado o de cilindro giratorio) que se comunica con la cámara 22 de separación, a través de un distribuidor cónico 212. El dispositivo de separación de la Figura 1 comprende, además, aguas arriba del cargador triboeléctrico 21, un dosificador 210 de tornillo para controlar el caudal de material granular 1 en el cargador 21.

La separación del material granular 1 se realiza de la siguiente manera, con la ayuda del dispositivo de separación de la Figura 1, que está configurado para separar una mezcla granular de partículas no conductoras 11a y 11b de diferentes naturalezas:

- dos cilindros 221, 222 metálicos coaxiales (electrodos) fijos o accionados en el mismo sentido mediante motores eléctricos (no visibles en las Figuras 1 a 4), a velocidades moderadas de algunas decenas de revoluciones por minuto;
- los dos cilindros 221, 222 están conectados a generadores de alto voltaje de polaridades opuestas (o con uno de los electrodos conectado a la tierra), creando así una zona de campo eléctrico E intenso;
- en primer lugar se alimenta la mezcla granular 1 que va a separarse, mediante el dosificador 210 de tornillo, en el cargador triboeléctrico 21;
- a continuación, se transfieren las partículas cargadas 11a y 11b de manera continua por un flujo de aire y por la fuerza de la gravedad en el campo eléctrico creado entre los dos electrodos cilíndricos coaxiales. Atraídas por los electrodos de polaridades opuestas, las partículas cargadas 11a y 11b, respectivamente, de manera positiva y negativa, se adhieren a la superficie de los mismos;
- un distribuidor cónico 212 está conectado a la salida del cargador triboeléctrico 21 y sirve para introducir, de manera continua, las partículas cargadas 11a y 11b en el espacio entre los dos electrodos cilíndricos 221, 222, donde reina un campo eléctrico. Esta transferencia se ve facilitada por un flujo de aire descendente generado por el aspirador-ciclón 2250 y la fuerza de la gravedad;
- atraídas por los electrodos 221, 222 de polaridades opuestas, las partículas 11a y 11b se adhieren a la superficie de los mismos;
- a continuación, medios 226 de limpieza fijos permiten desprenderlas de los electrodos 221, 222 y recuperarlas en dos compartimentos 231 y 232 del sistema 23 colector de producto. Si los electrodos 221, 222 son giratorios, en este caso, los medios de limpieza son inmóviles;

Así, la limpieza de los electrodos 221, 222 y la recogida de las partículas 11a y 11b una vez separadas, se realizan de manera continua, en una instalación estanca, permitiendo el tratamiento de mezclas granulares 1 de tamaño milimétrico y submilimétrico.

La Figura 2 muestra, más particularmente, un segundo modo de realización del dispositivo de separación electrostática según la invención, en donde el dispositivo 21 de carga es un cargador por efecto corona, situado en la cámara 22 de separación, aguas arriba de los electrodos 221, 222. El dispositivo de separación de la Figura 2 comprende, además, aguas arriba de la cámara 22 de separación, un dosificador 210 de tornillo y un distribuidor cónico 211 que se comunica con el cargador 21 por efecto corona, permitiendo el dosificador 210 de tornillo controlar el caudal de material granular 1 en el cargador 21.

La separación del material granular 1 se realiza de la siguiente manera, con la ayuda del dispositivo de separación de la Figura 2, que está configurado para separar una mezcla granular de partículas no conductoras 11 y de partículas conductoras 12:

- dos cilindros 221, 222 metálicos coaxiales (electrodos) fijos o accionados en el mismo sentido mediante motores eléctricos (no visibles en las Figuras 1 a 4), a velocidades moderadas de algunas decenas de revoluciones por minuto;
- los dos cilindros 221, 222 están conectados a generadores de alto voltaje de polaridades opuestas (o con uno de los electrodos conectado a la tierra), creando así una zona de campo eléctrico E intenso;
- en primer lugar se alimenta la mezcla granular 1 que va a separarse, mediante el dosificador 210 de tornillo, después a través del distribuidor cónico 212 en la cámara 22 de separación, en una zona de campo eléctrico de descarga de tipo corona, creada entre una serie de puntas metálicas sometidas a alto voltaje y el electrodo 222 cilíndrico exterior, conectado a la tierra;
- las partículas no conductoras 11, cargadas mediante el “bombardeo iónico” generado por la descarga de tipo corona, se atraen por el electrodo 222 cilíndrico exterior, conectado a la tierra, permaneciendo adheridas al mismo;
- las partículas conductoras 12 se cargan, en un primer momento, de la misma manera, pero, en contacto con el electrodo 22 conectado a la tierra, se descargan y se cargan inmediatamente (mediante inducción electrostática) a una polaridad opuesta. A continuación, se atraen por el electrodo 221 cilíndrico interior. Este está cubierto por una capa no conductora 2211, que impide el contacto entre las partículas 12 y el electrodo, así como la descarga e, incluso, el cambio de polaridad de dichas partículas;
- al igual que para el dispositivo de la Figura 1, un de los medios 226 de limpieza, asociados a aspiradores 2250 de tipo ciclón, permite recoger de una manera diferenciada las partículas unidas a los dos electrodos 221, 222.

Las Figuras 3A y 3B muestran, más particularmente, un tercer modo de realización del dispositivo de separación electrostática según la invención, en donde el dispositivo 21 de carga es un cargador por inducción electrostática situado en la cámara 22 de separación, aguas arriba de los electrodos 221, 222. El dispositivo de separación de la Figura 3 comprende, además, aguas arriba de la cámara 22 de separación, un dosificador 210 de tornillo y un distribuidor cónico 211 que se comunica con el cargador 21 por inducción electrostática, permitiendo el dosificador 210 de tornillo controlar el caudal de material granular 1 en el cargador 21.

La separación del material granular 1 se realiza de la siguiente manera, con la ayuda del dispositivo de separación de la Figura 3, que está configurado para separar una mezcla granular de partículas conductoras 12:

- dos cilindros 221, 222 metálicos coaxiales (electrodos) fijos o accionados en el mismo sentido mediante motores eléctricos (no visibles en las Figuras 1 a 4), a velocidades moderadas de algunas decenas de revoluciones por minuto;
- los dos cilindros 221, 222 están conectados a generadores de alto voltaje de polaridades opuestas (o con uno de los electrodos conectado a la tierra), creando así una zona de campo eléctrico E intenso;
- en primer lugar se alimenta la mezcla granular 1 que va a separarse, mediante el dosificador 210 de tornillo, después a través del distribuidor cónico 212 en la cámara 22 de separación, en una zona de inducción electrostática, creada mediante el campo eléctrico E entre los electrodos cilíndricos 221 interior y 222 exterior;

- se cargan las partículas conductoras 12a y 12b en el campo eléctrico E, en contacto con el electrodo exterior del cargador 21 mediante inducción electrostática. La diferencia de las resistividades eléctricas de superficie de las partículas conductoras 12a y 12b, conduce a niveles de carga diferentes de las partículas que se atraen, más o menos, por el electrodo cilíndrico, dando así lugar a su separación;
- al igual que para el dispositivo de la Figura 1, un de los medios 226 de limpieza, asociados a aspiradores 2250 de tipo ciclón, permite recoger de una manera diferenciada las partículas unidas a los dos electrodos 221, 222.

Ejemplos

Equipos

- prototipo del separador según la invención, ilustrado en la Figura 6; se alimenta mediante un conducto oscilante de 50 mm de anchura que permite un caudal de 4 g/s. En el caso donde la alimentación con materia se hiciera mediante un cono distribuidor con una circunferencia de 500 mm, el caudal sería de $40 \text{ g/s} = 2.400 \text{ g/min} = 144 \text{ kg/h}$. Para partículas con un tamaño de 0,125 mm a 0,25 mm, el caudal se reduciría a menos de 38 kg/h. Evidentemente, estos caudales deben ponerse en relación con las dimensiones de los electrodos cilíndricos.
- separador 3 tribo-aero-electrostático de discos de electrodos ilustrado en la Figura 9;
- separador 4 de caída libre ilustrado en la Figura 10.

Productos

- mezcla de partículas que comprende el 50 % de partículas de ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) y el 50 % de partículas de PC (véase el Ejemplo 1);
- mezcla de partículas que comprende el 50 % de partículas de PP (polipropileno) y el 50 % de partículas de PC (policarbonato) de 125 μm de diámetro (véase el Ejemplo 2);
- mezcla de partículas que comprende el 50 % de partículas de cobre y el 50 % de partículas de aluminio, siendo el diámetro de las partículas del orden de 50 μm (véase el Ejemplo 3).

Ejemplo 1

La Figura 7 muestra los resultados de la separación de una mezcla compuesta por el 50 % de ABS y el 50 % de PC. Se cargó la mezcla en un sistema de vibración y a continuación, se introdujo en el separador mediante un conducto oscilante. La pureza de esta separación es próxima al 100 %. En el caso de una mezcla del 40 % de ABS y el 60 % de PC, el producto de ABS estaba contaminado por partículas de PC, y la pureza descendió a aproximadamente el 95 %.

Ejemplo 2

Los resultados de la separación de una mezcla compuesta por el 50 % de PP y el 50 % de PC de 125 μm se muestran en la Figura 8. La carga y la introducción de la mezcla son idénticas a las descritas en el Ejemplo 1. Las purezas de los productos obtenidos son próximas al 100 %.

Ejemplo 3

Se realizó una prueba de viabilidad de la separación electrostática de los constituyentes de una mezcla de conductor/conductor con el dispositivo de separación electrostática según la invención, en donde el dispositivo 21 de carga es un cargador por efecto corona (ilustrado en la Figura 2A). La muestra sometida a prueba es una muestra compuesta por 1,4 g de partículas de cobre y por 1,4 g de partículas de aluminio, siendo el diámetro de las partículas del orden de 50 μm .

Se alimentaron los electrodos con un voltaje de 17 kV, para una corriente de 0,006 mA.

Se recogieron más del 70 % de las partículas de aluminio, más ligeras, en el electrodo cilíndrico interior, con una pureza próxima al 100 % (como se ilustra en la Figura 11). Las partículas de cobre, más pesadas, se recuperaron en las cubetas situadas en el extremo inferior del sistema de electrodos, en un producto que pesaba 1,2 g y que también contenía hasta el 20 % de aluminio (como se ilustra en la Figura 12). El resto de las partículas de los dos metales (aproximadamente 0,5 g) se encontraron "pegadas" sobre la superficie del electrodo cilíndrico exterior (como se ilustra en la Figura 13).

Ejemplo comparativo 1

Se ha realizado, igualmente, la separación de la mezcla del 50 % de PP y del 50 % de PC (mezcla de colores gris claro y gris oscuro) en un separador 3 conocido de la técnica anterior: se trata de un separador 3 tribo-aero-electrostático de discos de electrodos 321, 322. La carga y la separación se realizan en la cámara 32 de separación del separador 3. Se carga la mezcla de partículas en un lecho fluidizado y las partículas cargadas se atraen por los discos de electrodos 321, 322, que las evacúan en su movimiento de rotación. Este separador permite una separación en un régimen continuo, solamente con un caudal de 10 g/s, además, con problemas de estanqueidad y de recuperación, principalmente para las partículas finas, en la salida de los electrodos 321 y 322. Los resultados de esta separación, así como los problemas de estanqueidad y de recuperación 5, se muestran en la Figura 9.

Ejemplo comparativo 2

La Figura 10 ilustra los resultados de la separación de la mezcla del 50 % de ABS y el 50 % de PC en un separador 4 conocido del estado de la técnica anterior: se trata de un separador 4 electrostático de caída libre, con dos electrodos 421, 422 de placas. Se cargó la mezcla en un sistema de vibración y, a continuación, se introdujo en el separador 4 mediante un conducto oscilante. El separador 4 de caída libre no permite trabajar en régimen continuo y la separación se degrada en cuanto los electrodos 421, 422 se cubren por partículas.

Lista de las referencias

- [1] Benabderrahmane, A., Zeghloul, T., Medles, K., Tilmatine, A., Dascalescu, L., “Experimental investigation of a roll-type tribo-electrostatic separator for granular waste plastics”, Conf. Rec. IEEE/IAS Annual Meeting, Cincinnati, OH, 1-5 de octubre de 2017. DOI: 10.1109/IAS.2017.8101696
- [2] Richard, G., Salama, A., Medles, K., Zeghloul, T., Dascalescu, L., Comparative study of three high-voltage electrode configurations for the electrostatic separation of Aluminum, Copper and PVC from granular WEEE, J. Electrostat, 88 (2017) 29-34. DOI: 10.1016/j.elstat.2016.12.022
- [3] Patente francesa FR3015312 del CIRAD y del INRA.
- [4] Patente francesa FR3015311 del INRA.
- [5] Solicitud de patente francesa FR2943561 de APR2 y de la Universidad de Poitiers.
- [6] Miloudi, M., Remadnia, M., Dragan, C., Karim, M., Tilmatine, A., Dascalescu, L., Experimental study of the optimum operating conditions of a pilote-scale tribo-aero-electrostatic separator of mixed granular solids. IEEE Trans. Ind. Appl., 49 (2013) 699-706.
- [7] Tilmatine, A., Benabboun, A., Brahmi, Y., Bendaoud, A.; Miloudi, M., Dascalescu, L. Experimental investigation of a new triboelectrostatic separation process for mixed fine granular plastics. IEEE Trans. Ind. Appl., 50 (2014) 4245 - 4250.
- [8] Zeghloul, T., Mekhalef Benhafssa, A., Richard, G., Medles, K., Dascalescu, L. Effect of particle size on the tribo-aero-electrostatic separation of plastics. J. Electrostat, 88 (2017) 24-28.
- [9] Mekhalef Benhafssa, A., Medles, K., Bouhoulda, M.F., Tilmatine, A., Messal, S., Dascalescu, L. Study of a tribo-aero-electrostatic separator for mixtures of micronized insulating materials, IEEE Trans. Ind. Appl., 51 (2015) 4166-4172.
- [10] Brahami, Y., Tilmatine, A., Bendimerad, S. E., Miloudi, M., Zelmat, M. E.-M., Dascalescu, L., Tribo-aero-electrostatic separation of micronized mixtures of insulating materials using “back-and-forth” moving vertical electrodes. IEEE Trans. DEI, 23 (2016) 699-704.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de separación electrostática de un material granular (1) que comprende partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b) que presentan un diámetro equivalente comprendido entre 50 μm y 2 mm, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:
- 5
- A. introducir a caudal constante dicho material granular en un dispositivo (21) de carga que permite cargar dichas partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b) en función de su naturaleza; después cargar dichas partículas;
- 10
- B. generar un campo eléctrico E entre dos electrodos (221, 222) cilíndricos coaxiales verticales de eje (OZ), dispuestos en una cámara (22) de separación, variando la intensidad de E entre 1 kV/cm y 10 kV/cm,
- 15
- descomponiéndose los dos electrodos cilíndricos (221, 222) en un electrodo (221) cilíndrico interior de diámetro exterior d_{ie} de eje y un electrodo (222) cilíndrico exterior de diámetro interior d_{ei} ,
 - estando dichos electrodos cilíndricos (221, 222) conectados a un generador de alto voltaje continuo, estando uno de dichos electrodos (221) conectado al terminal positivo de dicho generador y estando el otro de dichos electrodos (222) conectado a su terminal negativo o a la tierra;
 - con el fin de crear una zona (224) de campo eléctrico que tiene la forma de una capa cilíndrica de grosor e que responde a la fórmula (1):
- 20
- $$(1) \quad e = (d_{ei} - d_{ie}) / 2$$
- 25
- C. generar, mediante aspiración, en dicha zona (224) de campo eléctrico, un flujo (225) de aire vertical descendente perpendicular a la dirección del campo eléctrico E y cuyo efecto combinado con el de la gravedad, permite la transferencia de manera continua de dichas partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b), una vez cargadas hacia dicha zona (224) de campo eléctrico;
- 30
- D. desplazar dichas partículas cargadas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b), cuando se encuentran en dicha zona (224) de campo eléctrico, hacia los electrodos (221, 222) de polaridades opuestas, para adherirse a los mismos;
- 35
- E. desprender de manera continua, con la ayuda de medios (226) mecánicos de limpieza de la superficie de los electrodos (221, 222), dichas partículas (11, 11a, 11b, 12) adherentes a la superficie de dichos electrodos (221, 222), pudiendo moverse dichos medios (226) mecánicos de limpieza, en rotación, alrededor del eje (OZ) central vertical de los electrodos, y estando dichos electrodos (221, 222) fijos, o a la inversa;
- 40
- F. evacuar de manera continua dichas partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b) desprendidas, bajo la acción conjugada de la gravedad y de dicho flujo (225) de aire vertical; después
- G. recuperar dichas partículas (11, 11a, 11b, 12)
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde dichas partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b) presentan un diámetro equivalente comprendido entre 0,125 mm y 2 mm.
- 45
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en donde
- dicho material granular (1) comprende, únicamente, partículas no conductoras (11a, 11b), distribuidas en dos categorías diferentes,
 - la carga de dichas partículas (11a, 11b) se realiza mediante efecto triboeléctrico, en un cargador triboeléctrico (21) que se comunica con dicha cámara de separación, a través de un distribuidor cónico (211).
- 50
4. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en donde:
- 55
- dicho material granular (1) comprende una mezcla de partículas no conductoras (11) y de partículas conductoras (12),
 - la carga de dichas partículas (11, 12) se realiza en dicha cámara (22) de separación, mediante efecto corona, en un cargador (21) por efecto corona situado aguas arriba de dichos electrodos (221, 222).
- 60
5. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en donde:
- 65
- dicho material granular (1) comprende una mezcla de partículas conductoras (12a, 12b),
 - la carga de dichas partículas (12a, 12b) se realiza en dicha cámara (22) de separación, mediante inducción electrostática generada por el campo eléctrico a lo largo de dichos electrodos (221, 222).

6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la intensidad del campo eléctrico E intenso está comprendida entre 4 kV/cm y 5 kV/cm.
- 5 7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde los materiales cargados se introducen en la zona (224) de campo eléctrico, en forma de una capa cilíndrica con un grosor comprendido entre 1 mm y 5 mm, según el tamaño de las partículas.
8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde dichas partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b) que van a separarse, presentan un diámetro comprendido entre 0,125 mm y 2 mm.
- 10 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, según el cual la etapa F) de recuperación de dichas partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b) se realiza en un sistema colector (23), recuperándose dichas partículas (11, 11a, 11b, 12) en compartimentos intermedios (231, 232) del sistema colector (23), siendo dichos compartimentos intermedios cilíndricos, coaxiales con dichos electrodos (221, 222) y estando cada uno conectado a un aspirador - ciclón (2250).
- 15 10. Procedimiento según la reivindicación 8, que comprende, además, una etapa de transferencia de dichas partículas (11, 12) de los compartimentos intermedios (231, 232) hacia compartimentos terminales (233, 234) del sistema colector (23), a través de dichos aspiradores-ciclones (2250).
- 20 11. Dispositivo de separación electrostática de un material granular (1) que comprende partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b) que presentan un diámetro comprendido entre 125 μ m y 2 mm, comprendiendo dicho dispositivo:
- 25
 - un dispositivo (21) para cargar dichas partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b) que van a separarse;
 - una cámara (22) de separación que comprende dos electrodos (221, 222) cilíndricos coaxiales verticales de eje (OZ) que se descomponen en
 - un electrodo (221) cilíndrico interior de diámetro exterior d_{ie} y un electrodo (222) cilíndrico exterior de diámetro interior d_{ei} ,
 - estando dichos electrodos cilíndricos (221, 222) conectados a un generador de alto voltaje continuo, estando uno de dichos electrodos (221) conectado al terminal positivo de dicho generador y estando el otro de dichos electrodos (222) conectado a su terminal negativo, de manera que puede generarse un campo eléctrico E,
- 30
 - medios (2250) de producción por aspiración, en dicha cámara (22) de separación, de un flujo (225) de aire vertical descendente perpendicular a la dirección del campo eléctrico E,
 - medios (226) de limpieza de la superficie de los electrodos (221, 222); y un dispositivo (23) de recuperación de dichas partículas (11, 11a, 11b, 12) **caracterizado por que** los medios (226) de limpieza de la superficie de los electrodos (221, 222) son mecánicos, pudiendo moverse dichos medios (226) mecánicos de limpieza, en rotación, alrededor del eje (OZ) y estando dichos electrodos (221, 222) fijos o a la inversa.
- 35 12. Dispositivo según la reivindicación 10, según el cual, el dispositivo (21) de carga es un cargador triboeléctrico (21) que se comunica con dicha cámara (22) de separación, a través de un distribuidor cónico (212).
- 45 13. Dispositivo según la reivindicación 10, según el cual, el dispositivo (21) de carga es un cargador por efecto corona situado en dicha cámara (22) de separación, aguas arriba de dichos electrodos (221, 222), realizándose la alimentación con materia de dicho dispositivo (21) de carga, a través de un distribuidor cónico (211).
- 50 14. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, según el cual, dichos medios (226) mecánicos de limpieza de la superficie de los electrodos son cepillos o raspadores.
- 55 15. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, según el cual, los medios (2250) de producción de flujo (225) de aire vertical descendente son aspiradores (2250) de tipo ciclón, que permiten, además, la recuperación de dichas partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b) en el sistema colector (23).
- 60 16. Dispositivo según la reivindicación 15, según el cual, el dispositivo (23) de recuperación de dichas partículas (11, 11a, 11b, 12, 12a, 12b) es un sistema (23) colector de productos que comprende:
 - dos compartimentos (231, 232) intermedios, cilíndricos, coaxiales con el sistema de electrodos (221, 222) y conectados a los aspiradores-ciclones (2250);
 - dos compartimentos terminales (233, 234), hacia los cuales se transfieren dichas partículas (11, 12) desde dichos compartimentos intermedios (231, 232), a través de dichos aspiradores-ciclones (2250).
- 65

17. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, que comprende, además, aguas arriba de dicho dispositivo (21) de carga, un dosificador (210) de material granular (1) adaptado para controlar su caudal.

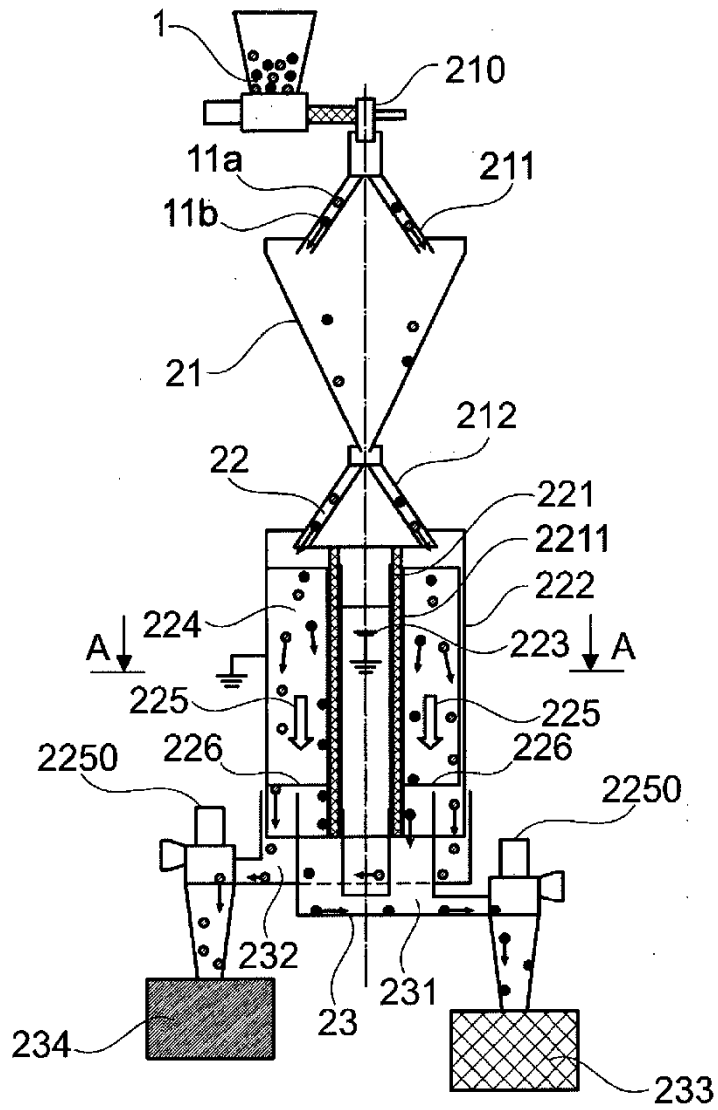


Fig. 1A

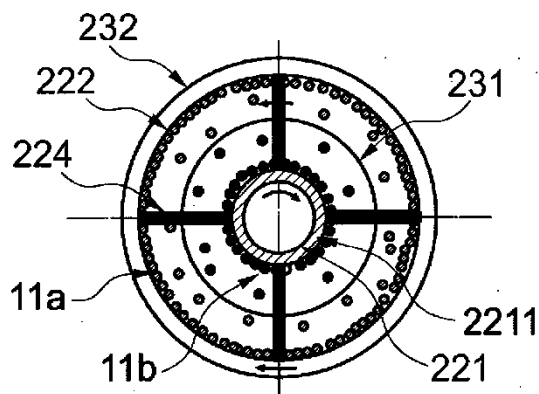


Fig. 1B

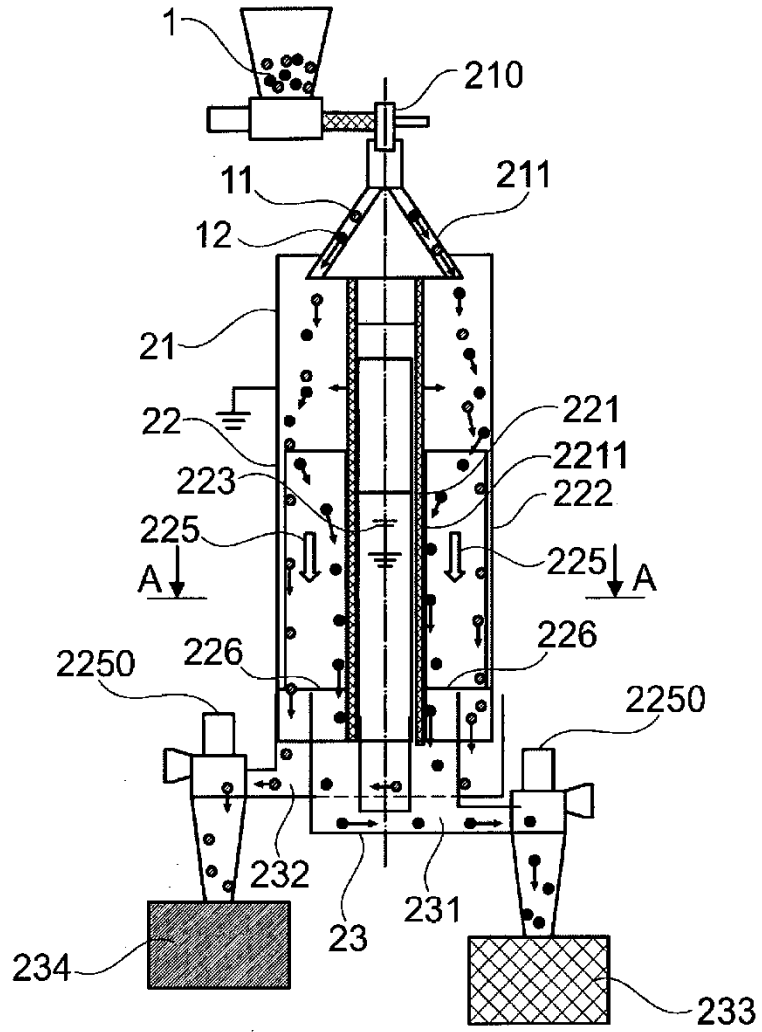


Fig. 2A

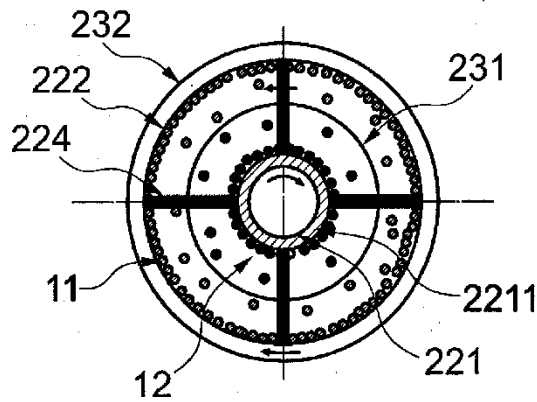


Fig. 2B

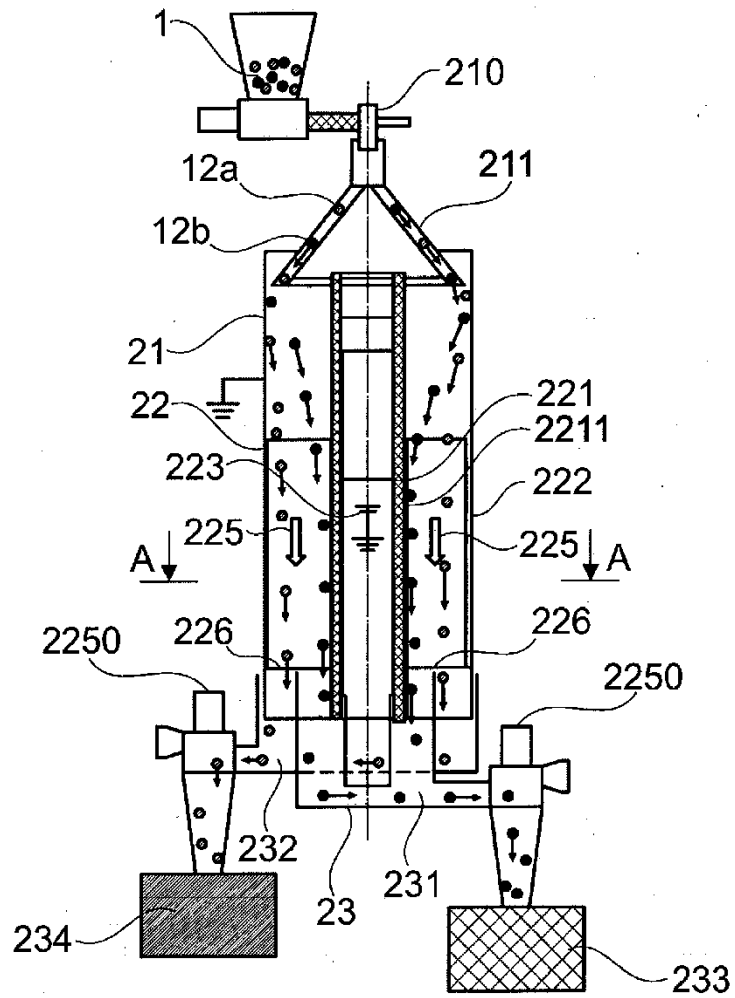


Fig. 3A

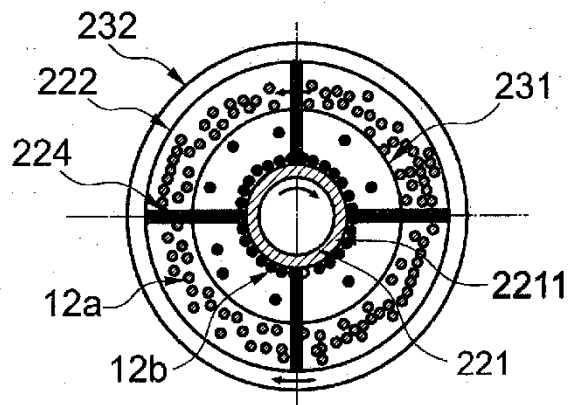


Fig. 3B

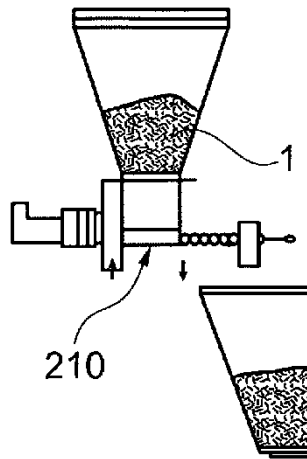


Fig. 4

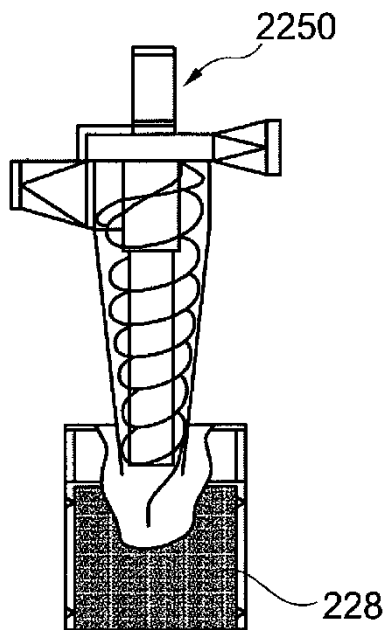


Fig. 5



Fig. 6

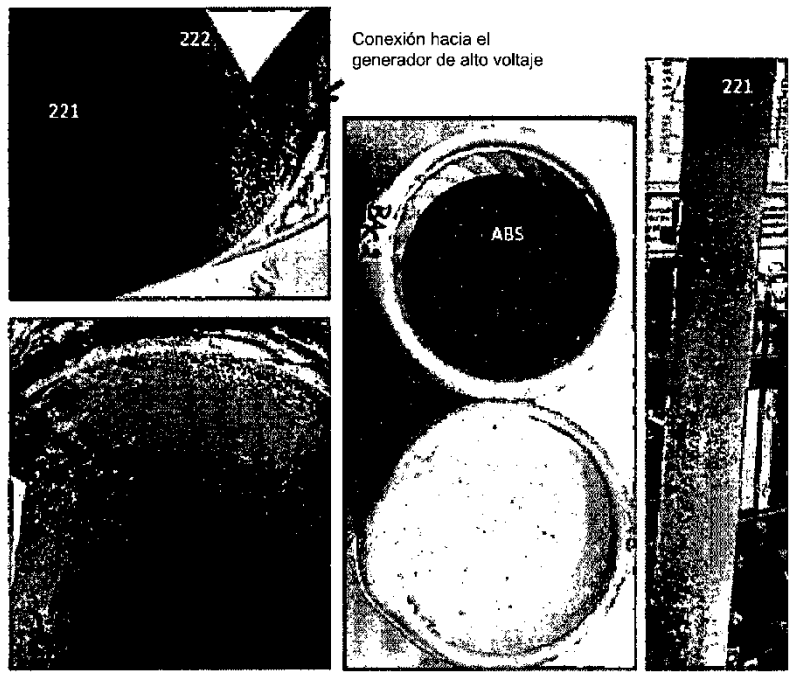


Fig. 7a

Fig. 7b

Fig. 7c

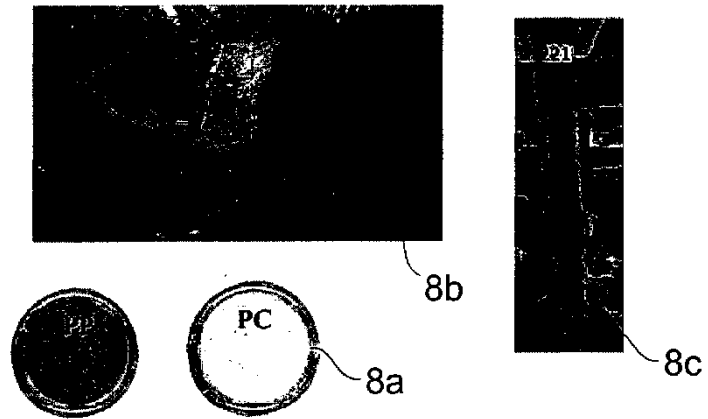


Fig. 8

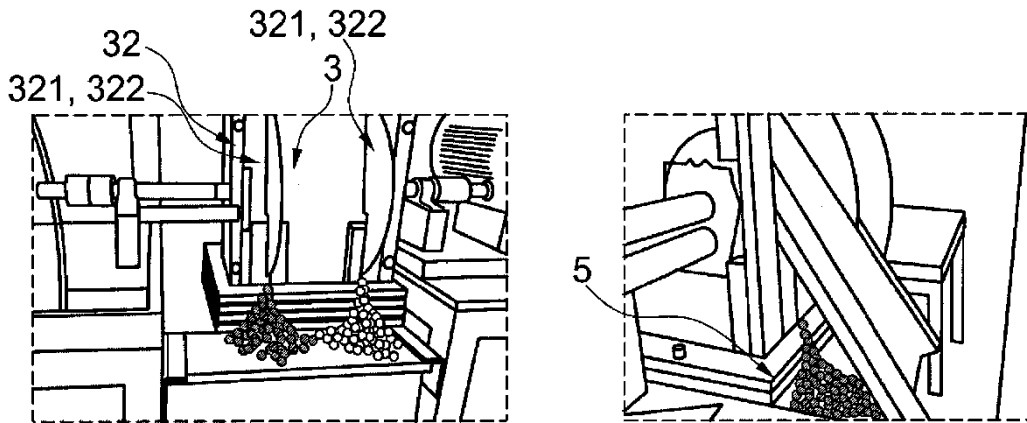


Fig. 9

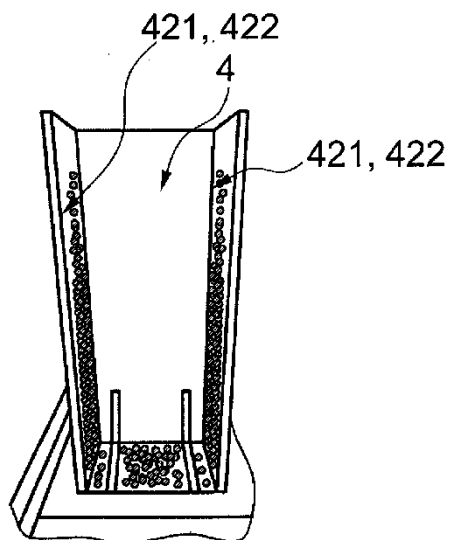


Fig. 10

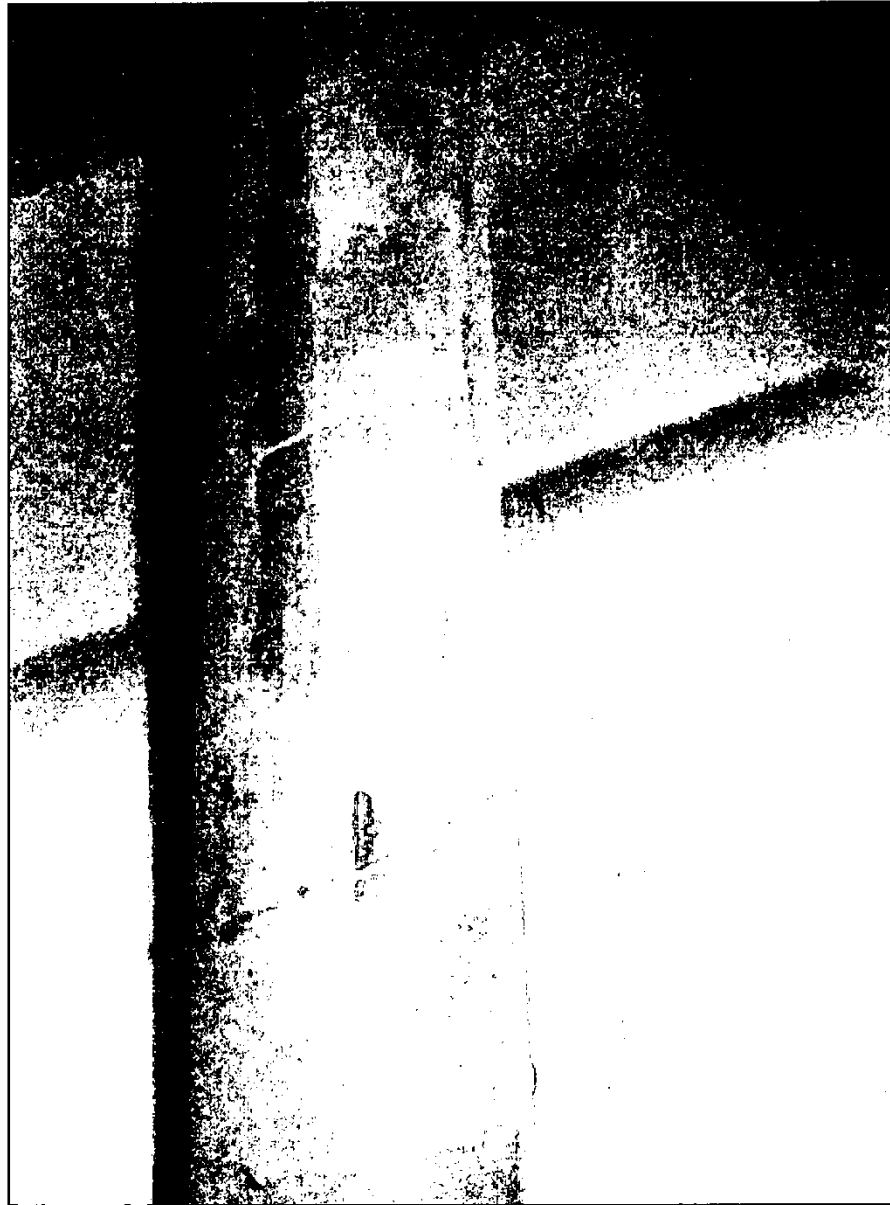


Fig. 11

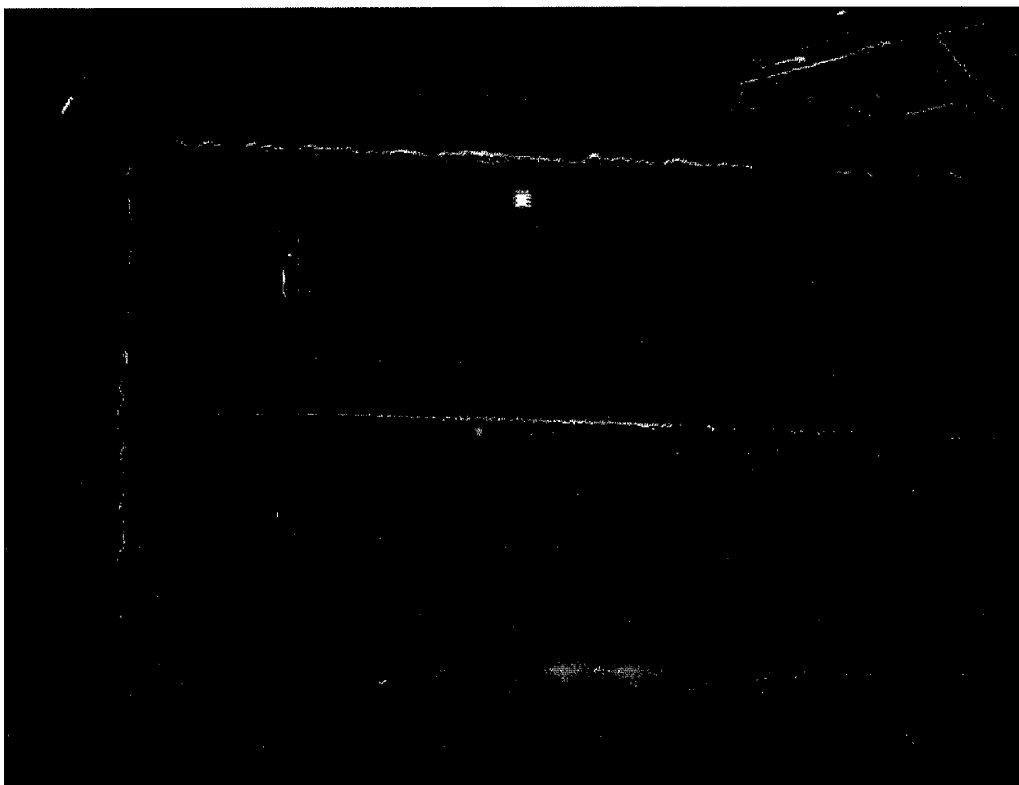


Fig. 12



Fig. 13