

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 887 956**

51 Int. Cl.:

B03C 1/32 (2006.01)

B03C 1/033 (2006.01)

B03C 1/28 (2006.01)

B03C 1/01 (2006.01)

H01F 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2014** **E 19215678 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.04.2021** **EP 3639926**

54 Título: **Imán y dispositivo para separación por densidad magnética**

30 Prioridad:

25.03.2013 NL 2010515

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

29.12.2021

73 Titular/es:

URBAN MINING CORP B.V. (100.0%)
Galileïstraat 32 L
3029 AM Rotterdam, NL

72 Inventor/es:

POLINDER, HENDRIK y
REM, PETER CARLO

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 887 956 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

Imán y dispositivo para separación por densidad magnética

5 La invención se refiere a un imán y un dispositivo para separación por densidad magnética (MDS).

10 La separación por densidad se usa en el procesamiento de materias primas para la clasificación de corrientes mixtas en corrientes con partículas de diferentes tipos de materiales. En una forma precisa de separación por densidad, se usa un medio líquido en el que el material más ligero flota y los materiales más pesados se hunden. El proceso requiere un medio líquido que tenga una densidad intermedia entre la densidad de los materiales ligeros y pesados en la alimentación, pero que sea económico y seguro. En la separación por densidad magnética, esto se proporciona utilizando un líquido magnético. El líquido magnético tiene una densidad de material que es comparable a la del agua. Sin embargo, cuando se aplica un campo magnético de gradiente al líquido magnético, la fuerza sobre un volumen del líquido es la suma de la gravedad y la fuerza magnética. De esta manera, es posible hacer que el líquido sea artificialmente liviano o pesado, lo que resulta en la llamada densidad de corte. Para la separación por densidad magnética, se utiliza un imán plano grande. El campo decae con la altura sobre el imán, preferiblemente exponencialmente con la altura sobre la superficie del imán. Los documentos EP 1 800 753 y WO 2009/108047 divulgan un método y un aparato para la separación por densidad magnética.

20 Para una separación precisa de la densidad en un líquido magnético, se usa preferiblemente un imán que, dentro del volumen de líquido magnético sobre el imán, crea un campo con una intensidad sustancialmente constante en cada plano paralelo al imán. El resultado es que las fuerzas magnéticas sobre el líquido son esencialmente perpendiculares a estos planos, y dependen esencialmente solo de la coordenada perpendicular al plano.

25 El imán propuesto en el documento EP 1 800 753 requiere una cantidad relativamente grande de material magnético permanente de forma compleja, que es costoso. En un intento por economizar material, se ha propuesto un imán mejorado para la separación por densidad magnética en "Magnet designs for magnetic density separation of polymers", The 25th conference on solid waste, technology and management, 27-30 de marzo de 2011, Filadelfia, PA, USA, La journal of solid waste technology and management, ISSN 1091-8043 (2011) 977-983.

30 En esta publicación, se propone un imán plano de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación, que incluye un soporte de acero plano, sobre el que se monta una serie de polos. Los polos están hechos alternativamente de acero y de un material magnético, y tienen una tapa con forma especial hecha de acero. Un espacio lleno de aire o un compuesto no magnético, tal como una resina de polímero, separa los polos consecutivos.

35 Aunque tuvo éxito en su construcción eficiente, en contraste con lo que se esperaba, el campo del imán no tenía una intensidad sustancialmente constante en los respectivos planos paralelos.

40 En una tesis titulada "Isogeometric analysis and shape optimization in electromagnetism", Dang Manh Nguyen divulga experimentos numéricos para optimizar la uniformidad de la resistencia de campo variando las formas de los polos magnéticos. Sin embargo, personalizar cada forma puede aumentar el coste de fabricación.

45 La invención tiene como objetivo proporcionar un imán plano para la separación por densidad magnética que sea de construcción rentable, pero que mantenga un campo de intensidad sustancialmente constante en cada plano paralelo al imán.

A este respecto, la invención proporciona un imán plano para separación por densidad magnética y un dispositivo de separación por densidad magnética como se define en las reivindicaciones independientes. Las realizaciones preferidas se definen mediante las reivindicaciones dependientes.

50 En este contexto, el término desigual en longitud, altura o anchura debe entenderse como una longitud, altura o anchura respectivos de un polo que no es el mismo ni un múltiplo entero natural de un polo sucesivo.

55 La disposición de los segmentos superiores de los polos sucesivos para que se curven de conformidad con la misma función de forma, pero que se extiendan en una longitud, anchura y/o posicionamientos diferentes a diferentes alturas, diferencias en la intensidad de los campos magnéticos de los polos sucesivos se pueden compensar, manteniendo las características uniformes de los campos individuales. Se ha encontrado que un cambio en la altura de la porción superior no requiere una forma diferente de la porción superior para generar la distribución uniforme del campo en planos paralelos al imán. Alternativamente o, además, una diferencia en longitud y/o anchura del segmento superior también puede usarse para la corrección de campo si los segmentos superiores de los polos tienen la misma curvatura básica.

60 En la dirección longitudinal del plano de montaje, cada pieza del polo sucesiva en dirección longitudinal en el arreglo de piezas del polo puede ser desigual en altura, longitud y/o anchura a su predecesor, o solo una parte del número total de piezas de polo en dirección longitudinal en el arreglo puede ser desigual en altura, longitud y/o anchura a su predecesor, por ejemplo, un subgrupo de dos, tres o más piezas polares sucesivas. Las piezas de los polos en las

posiciones impares y/o pares pueden ser idénticas, y las piezas de los polos delanteros y/o traseros son de una anchura menor que las piezas de los polos interpuestos.

5 Para facilitar la construcción, el plano de montaje puede ser una placa de soporte sobre la cual se montan las piezas polares. Preferiblemente, la placa de soporte está hecha de un material magnetizable, en particular material ferromagnético, en particular acero. Como alternativa, las piezas polares pueden montarse individualmente o en grupos más pequeños sobre un soporte.

10 Al hacer que las piezas polares se extiendan paralelas en la dirección transversal del plano de montaje, se puede lograr una distribución uniforme del campo en la dirección transversal del campo con relativa facilidad. Como alternativa, la permeabilidad magnética de los espacios entre piezas polares sucesivas puede cambiarse para compensar la alineación de las piezas polares.

15 Para reducir aún más el número de piezas polares, los polos sucesivos pueden estar separados en la dirección longitudinal del plano de montaje. Los espacios entre los polos sucesivos pueden rellenarse con material de relleno permeable magnéticamente, por ejemplo, aire, metal no magnetizable y/o resina polimérica.

20 Para ahorrar costes de construcción, en la dirección longitudinal del plano de montaje, las piezas polares pueden ser incorporadas alternativamente como imanes y polos magnetizables. Los imanes pueden ser por ejemplo imanes permanentes, como imanes de neodimio o electroimanes. Los polos magnetizables pueden estar hechos de un material magnetizable, preferiblemente un material ferromagnético, en particular acero. En tal disposición, las piezas polares sucesivas que se incorporan como imanes pueden tener la misma polaridad, en particular en una configuración de norte a sur o de sur a norte transversal al plano de montaje.

25 Para ahorrar costes en la construcción, los imanes pueden incluir una porción de base magnética y una porción superior separada de material magnetizable que incluye el segmento superior curvo. Por ejemplo, el polo magnético puede incluir una porción de base que es rectangular en sección transversal sobre la cual se coloca una porción superior de acero que se mecaniza para tener una parte superior curva.

30 Visto en dirección longitudinal, las piezas polares en el extremo delantero y/o trasero del plano de montaje pueden ser piezas polares magnéticas.

35 Visto en dirección longitudinal, las piezas polares en el extremo delantero y/o trasero del plano de montaje tienen una anchura que sea más de la mitad de la anchura de cualquiera de las piezas polares interpuestas. Sin embargo, la anchura es menor que la anchura de cualquiera de las piezas polares interpuestas.

La invención también se refiere a un dispositivo de separación por densidad magnética que incluye un imán plano.

40 La invención se explicará adicionalmente sobre la base de una realización de ejemplo no limitativa que se representa en los dibujos. En los dibujos:

La figura 1 muestra una vista esquemática en despiece de un imán plano para la separación por densidad magnética;

45 La figura 2 muestra una vista lateral esquemática de un detalle del arreglo de piezas polares del imán plano de la figura 1, en el que la diferencia en altura y anchura de las piezas polares se ha dibujado exageradamente para aumentar la visibilidad;

50 La figura 3 muestra una vista lateral esquemática de un dispositivo de separación magnética que incluye el imán de la figura 1.

Se observa que las figuras son meramente representaciones esquemáticas de una realización preferida de la invención. En las figuras, las partes idénticas o correspondientes se representan con los mismos numerales de referencia.

55 La figura 1 muestra un imán 1 plano para separación por densidad magnética. El imán 1 comprende un arreglo de piezas 2, 3 polares sucesivas en la dirección 1 longitudinal de un plano 4 de montaje. En la realización mostrada, el plano 4 de montaje es una placa 5 de soporte de acero grueso sobre la cual se montan las piezas 2, 3 polares. Cada pieza 2, 3 polar tiene un cuerpo 6 que se extiende en dirección t transversal a lo largo del plano 4 de montaje. Cada cuerpo 6 se extiende transversalmente a lo largo del plano 4 de montaje con una sección 7 transversal sustancialmente constante. En la realización mostrada, las piezas 2, 3 polares se extienden paralelamente en dirección t transversal del plano 4 de montaje. La sección 7 transversal del cuerpo 6 de cada pieza 2, 3 polar incluye un segmento 8 superior que está curvado para distribuir un campo magnético asociado con la superficie 9 superior tal que su resistencia transversal al plano de montaje está sustancialmente distribuida uniformemente en planos paralelos al plano 4 de montaje. Esto se ilustra en la figura 2.

65 Los segmentos superiores de las piezas polares en el arreglo están provistos de la misma curvatura básica.

Como se establece en la publicación "Magnet designs for magnetic density separation of polymers, The 25th International conference on solid waste, technology and management, March 27-30, 2011, Philadelphia, PA, USA, The journal of solid waste technology and management, ISSN 1091-8043 (2011) 977-983", en particular las páginas 979-981, la curvatura de la superficie superior puede representarse matemáticamente mediante la siguiente fórmula:

$$z = \frac{p}{\pi} \ln \operatorname{sen} \left(\frac{\pi x}{p} \right)$$

En esta fórmula, z es la altura de los puntos en la superficie superior con respecto a un punto de referencia fijo (el punto más alto) de la superficie superior, en función de la coordenada horizontal x, $0 < x < p$, corriendo a lo largo de la sección transversal del imán como en las figuras 1 y 2. El parámetro p es el intervalo en x sobre el cual el perfil es periódico.

Como se puede tomar de la figura 2, los segmentos 8 superiores curvos tienen una anchura x en la dirección 1 longitudinal del plano 4 de montaje y una altura h máxima transversal al plano 4 de montaje.

En algunas realizaciones, los segmentos 8 superiores de piezas polares sucesivas en la dirección 1 longitudinal son desiguales en altura h y/o anchura x. En la realización mostrada, en la dirección 1 longitudinal del plano 4 de montaje, cada pieza 2,3 polar sucesiva en el arreglo de piezas polares es desigual en altura h o anchura x con respecto a su predecesora. Las piezas 2' polares delantera y trasera en el extremo 15 delantero respectivo y el extremo 16 trasero del imán 1 son de menor anchura x1 que la anchura x2 de las piezas 2, 3 polares interpuestas entre las piezas 2' polares delantera y trasera. La anchura x1 de las piezas 2' polares delanteras y traseras puede ser, por ejemplo, de 60 mm, mientras que la anchura x2 de las piezas 2, 3 polares interpuestas puede ser, por ejemplo, de 80 mm. Las piezas 2' polares delanteras y traseras son piezas polares magnetizables. Sin embargo, de acuerdo con la invención, su anchura x1 es mayor que la mitad de la anchura x2 de las piezas 2 polares magnetizables interpuestas. Esto permite reducir la pérdida de flujo magnético que se extiende lateralmente en el extremo delantero y trasero de la placa 5 de soporte.

En la realización mostrada, las piezas 2, 3 polares interpuestas se incorporan como imanes 2 en posiciones polares impares, y como piezas 3 polares magnetizables en posiciones pares. Las piezas 3 polares magnetizables interpuestas tienen una superficie 9 superior que tiene una forma idéntica a la superficie 9 superior de las piezas 2 polares magnéticas interpuestas, y la anchura x de estas piezas es idéntica, pero la posición de sus superficies 9 superiores se desplaza verticalmente hacia arriba en la misma orientación, de modo que la altura h2 de las piezas 3 polares magnetizables es mayor que la altura h1 de las piezas 2 polares magnéticas. En la práctica, la altura h1 puede ser, por ejemplo, 60 mm, la altura h2 puede ser por ejemplo 80 mm.

Esto permite que las piezas 2 polares magnetizables tengan más volumen de material, de modo que la fuerza de campo más débil del material magnetizable en comparación con el material magnético se pueda compensar, aunque la distribución de las líneas de campo sobre la superficie superior sigue siendo tal que crea un campo con una resistencia sustancialmente constante en cada plano paralelo a la pieza polar y, debido a la compensación, para todo el imán plano.

La longitud de los segmentos 8 superiores de las piezas 2, 3 polares transversales a la dirección longitudinal es en esta realización la misma para todas las piezas polares, pero también puede variarse para compensar. En particular, las piezas polares delanteras y/o traseras pueden estar provistas de una mayor longitud.

Como se puede tomar de la figura 2, en esta realización de ejemplo, las piezas polares sucesivas que se incorporan como imanes 2 son de la misma polaridad. En particular, la orientación norte-sur de estas piezas 2 polares está alineada y es transversal al plano 4 de montaje.

Con referencia a las figuras 1 y 2, se muestra que los polos 2, 3 sucesivos pueden estar separados en la dirección 1 longitudinal del plano 4 de montaje. Los espacios 10 entre polos sucesivos se rellenan en este ejemplo con material de relleno permeable magnéticamente, en este ejemplo resina 11 de poliéster. Esto evita la obstrucción de los espacios 10 con material extraño. La resina 11 también se extiende sobre la parte superior de las piezas 2, 3 polares para proporcionar una superficie 12 lisa del imán 1. Los espacios se rellenan con material de relleno permeable magnéticamente.

En la dirección longitudinal del plano 4 de montaje, las piezas 2, 3 polares se incorporan alternativamente como imanes 2 y polos 3 magnetizables. En la realización mostrada, las piezas polares con el numeral de referencia 2 se incorporan

como imanes de neodimio, y las piezas polares provistas con el numeral de referencia 3 están realizadas como piezas polares magnetizables de acero. Para facilitar la fabricación, los imanes 2 incluyen una porción 13 de base magnética con una sección transversal rectangular, y una porción 14 superior de acero que ha sido mecanizada para incluir la superficie 9 superior curva.

En algunas realizaciones, los segmentos 8 superiores de las piezas 2,3 polares sucesivas son asimétricas en un plano espejo normal al plano de montaje y se extienden en dirección transversal a través del centro del espacio 10 entre imanes sucesivos: las posiciones de altura de los segmentos superiores interpuestos sucesivos no son igual, y la anchura de las piezas polares en los extremos no es semejante a la imagen de polos sucesivos entre sí enteros o medios

Como ejemplo, en la Tabla 1 a continuación, se proporcionan mediciones de los extremos del campo magnético a lo largo del eje x de un imán ($p = 0,12$ m) diseñado con un ensanchamiento correctivo de los polos magnéticos de los bordes superior e inferior. Se muestra que el ensanchamiento correctivo mejora la homogeneidad del campo con respecto a la versión no corregida en el sentido de que las diferencias entre los extremos ahora son en todas partes inferiores a 0.05 Tesla. Especialmente cerca del extremo delantero o trasero, donde tiene lugar la separación de los productos y la homogeneidad del campo es lo más importante, las diferencias son aún más pequeñas.

Tabla 1:

X [mm]	Bz [Tesla]
-600	0.22
-480	-0.20
-360	0.25
-240	-0.20
-120	0.25
0	-0.20
+120	0.25
+240	-0.20
+360	0.25
+480	-0.20
+600	0.22

La figura 3 muestra un dispositivo 17 de separación por densidad magnética, que incluye un imán 1 plano del tipo discutido anteriormente. En este ejemplo, el imán puede tener un área de superficie de 4m^2 . Material para ser separado, por ejemplo, una mezcla de botellas 18 desechadas hechas de un material plástico más ligero y pesado, se alimenta en un flujo preferiblemente laminar de líquido magnético, en este ejemplo ferrofluido, a través de un canal 19 del dispositivo 17 de separación en una dirección f de flujo. Una pared 20 del canal incluye el imán 1 plano dispuesto con su dirección longitudinal alineada con la dirección del flujo. El imán 1 aplica una densidad de corte al líquido magnético que fluye a través del canal 19. La densidad de corte hace que las botellas 18a hechas del plástico más ligero fluyan en una porción superior del canal 19, y las botellas 18b hechas del plástico más pesado fluyan a una porción 19 inferior del canal. La superficie 12 del imán 1 está cubierta por una porción de una cinta 20 transportadora sin fin que circula entre las ruedas 21 de desvío, de modo que los restos se transportan lejos de la superficie 12 del imán 1. Corriente abajo del imán 1 se coloca una pared 22 divisoria en el canal 19 que divide el canal 19 en una porción 19a superior para las botellas 18a hechas de material de menor densidad, y una porción 19b inferior para las botellas 18b hechas de material de mayor densidad.

La invención no se limita a la realización de ejemplo representada aquí. Por ejemplo, las sucesivas piezas polares en dirección longitudinal pueden realizarse como imanes, por ejemplo, electroimanes, y pueden tener polaridad alterna. Dichas variaciones serán claras para el experto en la materia y se consideran dentro del alcance de la invención tal como se define en las siguientes reivindicaciones.

Numerales de referencia

- 1 Imán
- 2 Pieza polar, imán
- 3 Pieza polar, magnetizable
- 4 Plano de montaje
- 5 Placa de soporte
- 6 Cuerpo
- 7 Sección transversal
- 8 Segmento superior
- 9 Superficie superior
- 10 Espacio
- 11 Resina
- 12 Superficie

- 13 Porción base
- 14 Porción superior
- 15 Extremo delantero
- 16 Extremo trasero
- 5 17 Dispositivo de separación
- 18 Botellas (a densidad más baja, b densidad más alta)
- 19 Canal (a superior, b inferior)
- 20 Cinta transportadora
- 21 Ruedas desviadoras
- 10 22 Pared divisoria (a superior, b inferior)
- f Dirección del flujo
- l Dirección longitudinal
- t Dirección transversal
- h Altura
- 15 x Anchura

REIVINDICACIONES

1. Un imán (1) plano para separación por densidad magnética, que comprende un arreglo de piezas (2,3) polares sucesivas en la dirección (1) longitudinal de un plano (4) de montaje, teniendo cada pieza (2,3) polar un cuerpo (6) que se extiende transversalmente a lo largo del plano (4) de montaje con una sección (7) transversal sustancialmente constante, en donde cada pieza (2,3) polar incluye un segmento (8) superior con una superficie (9) superior que se curva para distribuir un campo magnético asociado con la superficie (9) superior, en donde los segmentos (8) superiores de las piezas (2,3) polares tienen la misma curvatura básica, caracterizado porque las piezas (2', 2'') polares delanteras y/o traseras en el extremo (15) delantero respectivo y/o el extremo (16) trasero del imán (1) tienen una anchura (x1) que es menor que la anchura (x2) de cualquiera de las piezas (2,3) polares interpuestas entre las piezas polares delantera y trasera, pero que es mayor que la mitad de la anchura de cualquiera de las piezas polares interpuestas entre las piezas polares delantera y trasera.
2. El imán de la reivindicación 1, en donde el plano (4) de montaje es una placa (5) de soporte sobre la cual se montan las piezas (2,3) polares.
3. El imán de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las piezas (2, 3) polares se extienden paralelas en la dirección (t) transversal del plano (4) de montaje.
4. El imán de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las sucesivas piezas (2, 3) polares están espaciadas en la dirección (1) longitudinal del plano de montaje.
5. El imán de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las piezas (2, 3) polares se incorporan alternativamente como piezas (2) polares magnéticas y piezas (3) polares magnetizables.
6. El imán de acuerdo con la reivindicación 5, en el que las superficies (9) superiores de las piezas (2,3) polares sucesivas se desplazan en altura con respecto al plano (4) de montaje, en donde una altura (h2) de las piezas (3) polares magnetizables es mayor que una altura (h1) de la pieza (2) polar magnética de tal manera que la resistencia del campo magnético sobre las piezas (2,3) polares transversales a la del plano de montaje se distribuye de manera más uniforme en planos paralelos al plano de montaje en comparación con una situación de las piezas (2,3) polares todas con la misma altura.
7. El imán de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las piezas polares sucesivas que se incorporan como polos (2', 2'') magnéticos son de la misma polaridad.
8. El imán de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las piezas polares incluyen una porción (13) de base magnética y una porción (14) superior de material magnetizable que incluye el segmento (8) superior curvo.
9. El imán de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la curvatura de los segmentos (8) superiores de las piezas (2,3) polares está representada por la fórmula:

$$z = \frac{p}{\pi} \ln \operatorname{sen} \left(\frac{\pi x}{p} \right)$$

- en donde "z" es una altura de puntos en la superficie superior con respecto a un punto de referencia fijo de la superficie superior, en función de una coordenada horizontal "x", en donde $0 < x < p$, que corre a lo largo de la sección transversal del imán; en donde "p" es un intervalo en "x" sobre el cual el perfil es periódico.

10. Un dispositivo (17) de separación por densidad magnética, que incluye un canal (19) para hacer fluir líquido magnético a través de él en una dirección (f) de flujo, una pared del canal que incluye un imán (1) plano de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 -9 dispuesto con su dirección (1) longitudinal alineada con la dirección (f) del flujo para aplicar una densidad de corte al líquido magnético que fluye a través del canal.
11. El dispositivo de separación por densidad magnética de acuerdo con la reivindicación 10, en el que una superficie del imán está cubierta por una porción de una cinta (20) transportadora sin fin que circula entre las ruedas (21) de desviación.
12. El dispositivo de separación por densidad magnética de acuerdo con la reivindicación 11, en el que corriente abajo del imán se coloca una pared (22) divisoria en el canal que divide el canal.

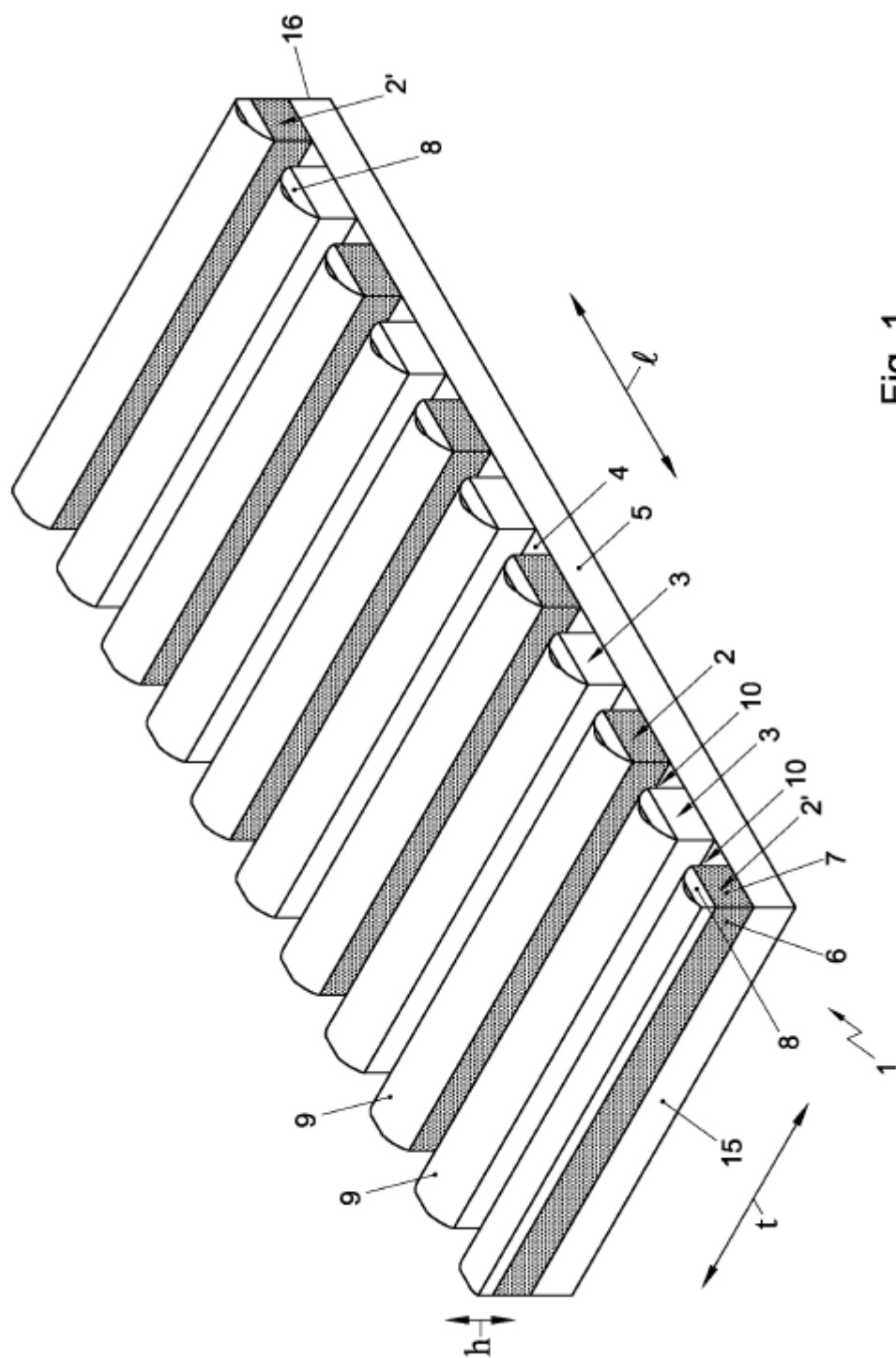


Fig. 1

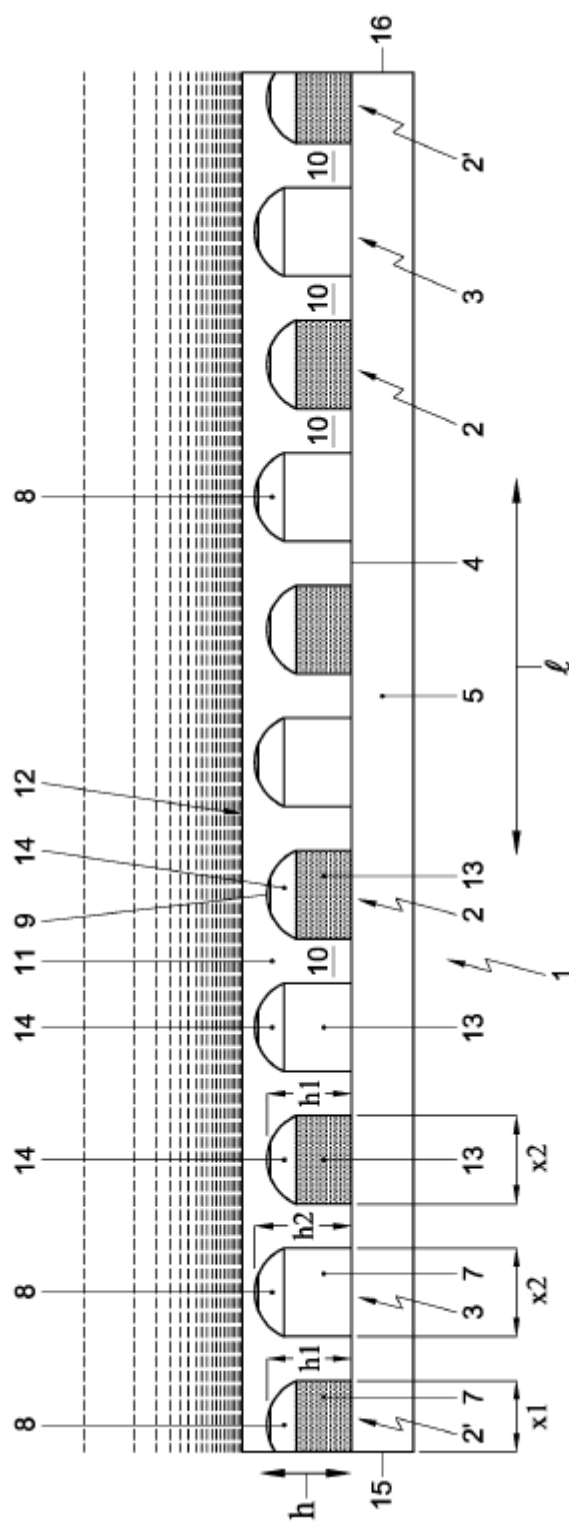


Fig. 2

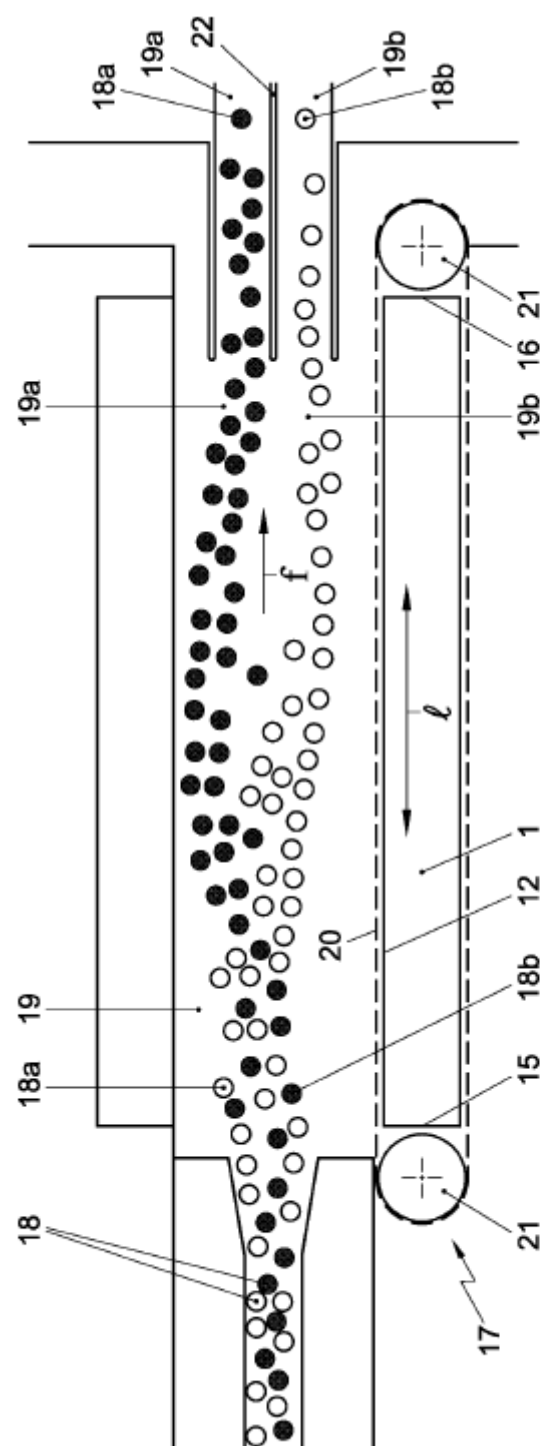


Fig. 3