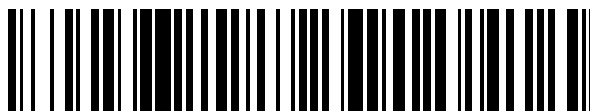


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 741 301**

51 Int. Cl.:

<b>C02F 1/52</b>	(2006.01)
<b>C01B 25/45</b>	(2006.01)
<b>C02F 1/00</b>	(2006.01)
<b>C01B 25/28</b>	(2006.01)
<b>C01B 25/32</b>	(2006.01)
<b>C02F 1/66</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.03.2012 PCT/CA2012/050144**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.09.2012 WO12119260**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.03.2012 E 12755256 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019 EP 2683659**

54 Título: **Reactor para la precipitación de solutos de aguas residuales y procedimientos asociados**

30 Prioridad:

**10.03.2011 US 201161451518 P**

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

**10.02.2020**

73 Titular/es:

**OSTARA NUTRIENT RECOVERY  
TECHNOLOGIES INC. (100.0%)  
690-1199 West Pender Street  
Vancouver, British Columbia V6E 2R1, CA**

72 Inventor/es:

**BRITTON, AHREN**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 741 301 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

Reactor para la precipitación de solutos de aguas residuales y procedimientos asociados

5 Campo técnico

**[0001]** La invención se refiere al tratamiento de aguas residuales. Las realizaciones se refieren a reactores para la precipitación de materiales disueltos de aguas residuales y procedimientos para la precipitación de materiales disueltos de aguas residuales. Por ejemplo, la invención se puede aplicar en reactores de precipitación de estruvita.

10

Antecedentes

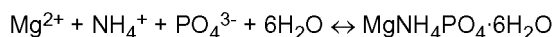
**[0002]** Los reactores en general y los reactores de lecho fluidizado en particular, se han utilizado para separar y recuperar el fósforo de aguas residuales que contienen concentraciones significativas de fósforo, a menudo en forma de fosfato. Dichas aguas residuales pueden proceder de una amplia variedad de fuentes. Estas incluyen fuentes tales como lixiviación de vertederos de residuos, escorrentía de suelos agrícolas, efluente de procedimientos industriales, aguas residuales municipales, residuos animales, y similares. Dichas aguas residuales, si son liberadas al entorno sin tratamiento, pueden producir niveles de fósforo en exceso en el efluente.

15

**[0003]** Existen diferentes tecnologías de eliminación y recuperación de fósforo. Algunas de las tecnologías proporcionan reactores de lecho fluidizado para separar el fósforo de las disoluciones acuosas, produciendo estruvita ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) o un análogo de estruvita o un compuesto de fosfato en forma de sedimentos. La estruvita se puede formar por la reacción:

20

25

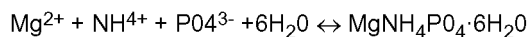


**[0004]** Los ejemplos de reactores utilizados para separar y recuperar fósforo de las disoluciones de aguas residuales se han descrito en varias referencias. Entre ellas se incluyen las siguientes:

30

- Regy y col., Phosphate recovery by struvite precipitation in a stirred reactor, LAGEP (marzo a diciembre de 2001) incluye un estudio de varios intentos de separar el fósforo y el nitrógeno de las aguas residuales por precipitación de estruvita.

35



**[0005]** Los ejemplos de reactores utilizados para separar y recuperar fósforo de las disoluciones de aguas residuales se han descrito en varias referencias. Entre ellas se incluyen las siguientes:

40

- Regy y col., Phosphate recovery by struvite precipitation in a stirred reactor, LAGEP (marzo a diciembre de 2001) incluye un estudio de varios intentos de separar el fósforo y el nitrógeno de las aguas residuales por precipitación de estruvita.

45

- Trentelman, patente de Estados Unidos n.º 4.389.317 y Piekema y col., Phosphate Recovery by the Crystallization Process: Experience and Developments, ponencia presentada en la 2.ª Conferencia Internacional sobre la Recuperación de fosfatos para su reciclado a partir de aguas residuales y residuos animales, Noordwijkerhout, Países Bajos, 12 y 13 de marzo de 2001, describe un reactor y un procedimiento para la precipitación de fosfatos en forma de fosfato de calcio, fosfato de magnesio, fosfato de amonio y magnesio o fosfato de potasio y magnesio.

50

- Ueno y col., Three years experience on operating and selling recovered struvite from full scale plant (2001), Environmental Technology, v. 22, p. 1373, describe el uso de reactores de cristalización de corriente lateral para separar el fosfato en forma de fosfato de magnesio y amonio (también conocido como estruvita).

55

- Tsunekawa y col., resúmenes de patentes de Japón n.º 11-267665, describe un reactor para separar el fósforo del agua.

60

- Koch y col., Fluidized bed wastewater treatment, patente de Estados Unidos n.º 7.622.047,
- Documentos de patente WO 94/00411 A1, WO 85/00119 A1 y US 4869 815 A1. El documento US 7 622 047 B2 se refiere a los reactores utilizados para separar y recuperar el fósforo de aguas residuales. El documento U 4 743 376 se refiere a la purificación del agua por lecho fluidizado. El documento US 6 495 050 B1 se refiere a un procedimiento de tratamiento de aguas que contienen manganeso.

**[0006]** Algunos problemas que pueden ocurrir en el tratamiento de aguas residuales y reactores incluyen la

insuficiente precipitación de solutos en las aguas residuales tratadas y el arrastre de partículas precipitadas en las aguas residuales tratadas. Se necesitan procedimientos y sistemas rentables para abordar algunos o todos estos problemas.

## 5 Resumen

**[0007]** La invención proporciona un sistema de tratamiento de aguas residuales como se menciona en la reivindicación 1 y un procedimiento para el tratamiento de aguas residuales como se menciona en la reivindicación 8. Las características preferidas de la invención se establecen en las reivindicaciones dependientes. Se describen los reactores de lecho fluidizado y sus componentes. Dichos reactores pueden, por ejemplo, aplicarse en la producción de estruvita, análogos de estruvita y otros compuestos que contienen fósforo a partir de aguas residuales. Otro aspecto proporciona procedimientos para el tratamiento de aguas residuales. En el presente documento se describen varios ejemplos de dichos aparatos y procedimientos y se ilustran en los dibujos adjuntos.

**[0008]** Un aspecto ejemplar proporciona un reactor de lecho fluidizado con una sección de clarificación aguas arriba de una salida. La sección de clarificación está configurada para proporcionar una baja velocidad de fluido. Por lo tanto, la sección de clarificación ayuda a evitar que pequeñas partículas de estruvita o similares salgan del reactor. Las velocidades de fluido en al menos una sección debajo de la sección de clarificación son más altas que las velocidades de fluido en la sección de clarificación. Las velocidades de fluido en la sección de clarificación se reducen eliminando el fluido antes de que este entre en la sección de clarificación. Esto puede implicar la introducción del fluido en un colector o similar en o cerca de un límite inferior de la sección clarificadora. El líquido extraído puede reciclarse parcial o totalmente en una sección del reactor situada debajo de la sección de clarificación. Se describe que un área de sección transversal de la sección de clarificación puede ser menor que un área de sección transversal de una o más secciones debajo de la sección de clarificación en la cual las velocidades de fluido son mayores que las velocidades de fluido dentro de la sección de clarificación.

**[0009]** Otro aspecto proporciona un sistema de tratamiento de aguas residuales que comprende: un tanque de reactor cónico de una primera sección transversal a una segunda sección transversal menor que la primera sección transversal. La primera sección transversal está por encima de la segunda sección transversal. Se proporciona una entrada para que las aguas residuales entren en el tanque de reactor por debajo o cerca de la parte inferior de la segunda sección transversal. Se ha dispuesto una vía de reciclado para recoger las aguas residuales de una toma aguas abajo de la primera sección transversal y devolver al menos una parte de las aguas residuales eliminadas al tanque de reactor aguas arriba de la toma. Se proporciona una salida para que el agua salga del tanque de reactor aguas abajo de la toma de la vía de reciclado. Puede proporcionarse una sección de clarificación entre la toma a la vía de reciclado y la salida.

**[0010]** Un distribuidor de flujo está configurado para recoger las aguas residuales del tanque de reactor y llevarlas a la toma. El distribuidor de flujo está configurado para hacer que el agua residual extraída por la toma sea extraída de manera sustancialmente uniforme desde una sección transversal del tanque de reactor. El distribuidor de flujo puede comprender, por ejemplo, un colector, un canal, una placa de distribución de flujo horizontal y un dique sumergido ubicado verticalmente debajo de la placa de distribución de flujo o similar.

**[0011]** Algunas realizaciones comprenden un mecanismo de dosificación conectado para mezclar un reactivo con las aguas residuales entrantes. El reactivo puede comprender, por ejemplo, una fuente de uno o más de: iones de magnesio e iones de amonio.

**[0012]** Otro aspecto proporciona procedimientos para el tratamiento de aguas residuales. Los procedimientos según este aspecto comprenden: hacer fluir aguas residuales desde la entrada de un tanque de reactor hacia arriba a través del tanque de reactor; reducir la velocidad de las aguas residuales que fluyen aguas abajo de la entrada; eliminar aguas residuales de velocidad reducida aguas arriba de una salida del tanque de reactor; y volver a introducir las aguas residuales eliminadas al tanque de reactor aguas arriba de donde se eliminan las aguas residuales eliminadas.

**[0013]** Otros aspectos proporcionan aparatos que comprenden cualquier característica nueva, combinación de características o subcombinación de características de la invención descritas en el presente documento y procedimientos que comprenden cualquier nueva etapa, acto, combinación de etapas y/o actos o subcombinación de etapas y/o actos de la invención descritos en el presente documento.

**[0014]** Otros aspectos de la invención y características de realizaciones ejemplares de la invención se describen a continuación y/o se ilustran en los dibujos adjuntos.

### Breve descripción de los dibujos

**[0015]** Los dibujos adjuntos ilustran la descripción.

La figura 1 es una vista en sección transversal en alzado lateral de un reactor de lecho fluidizado cónico según una

realización que no forma parte de la invención, pero representa la técnica anterior que es útil para entender la invención.

5 La figura 2 es una vista en sección transversal en alzado lateral de un reactor de lecho fluidizado gradualmente cónico según una realización que no forma parte de la invención, pero representa la técnica anterior que es útil para entender la invención.

10 La figura 3 es una vista en sección transversal en alzado lateral de un reactor de lecho fluidizado cónico según una realización que no forma parte de la invención, pero representa la técnica anterior que es útil para entender la invención.

La figura 4 es una vista en sección transversal en alzado lateral de un reactor de lecho fluidizado gradualmente cónico según una realización ejemplar.

15 La figura 4A es una vista en sección transversal en planta superior de un colector del reactor mostrado en la figura 4.

La figura 5 es una vista en sección transversal en alzado lateral de un reactor de lecho fluidizado cónico según una realización ejemplar.

20 La figura 6 es una vista en sección transversal en alzado lateral de un reactor de lecho fluidizado cónico según una realización ejemplar.

La figura 6A es una vista en sección transversal en planta superior de una disposición de canal del reactor mostrado en la figura 6.

25 La figura 7 es un diagrama de flujo de un procedimiento según una realización ejemplar.

La figura 8 es una vista en sección transversal en alzado lateral de un reactor de lecho fluidizado cónico según una realización ejemplar.

30 La figura 9 es una vista en sección transversal en alzado lateral de un reactor de lecho fluidizado gradualmente cónico según una realización ejemplar.

35 La figura 10 es una vista en sección transversal en alzado lateral de un reactor ejemplar que incluye un tubo difusor.

#### Descripción

40 **[0016]** A lo largo de la siguiente descripción, se exponen detalles específicos con el fin de proporcionar una mayor comprensión de la invención a los expertos en la materia. Sin embargo, elementos bien conocidos pueden no haber sido mostrados o descritos en detalle para evitar complicar innecesariamente la descripción. Por consiguiente, la descripción y los dibujos se consideran como ilustrativos, más que en un sentido restrictivo.

45 **[0017]** Algunas realizaciones de la invención en la descripción siguiente se refieren a aparatos o procedimientos de reactor en el que el fósforo en aguas residuales se precipita en forma de estruvita o análogos de estruvita o un compuesto de fosfato. Esta elección de ejemplo coincide con realizaciones que tienen una utilidad comercial significativa. Sin embargo, el alcance de la invención no está limitado a estos ejemplos, sino que se define por las reivindicaciones adjuntas.

50 **[0018]** Por conveniencia, la expresión «aguas residuales» se utiliza en la siguiente descripción y reivindicaciones para describir disoluciones acuosas tales como aguas residuales industriales y municipales, lixiviados, escurrientías, residuos animales, efluente o similares. La expresión «aguas residuales» no está limitada al efluente de las aguas residuales municipales, residuos animales o cualquier otra fuente específica. Algunas realizaciones proporcionan procedimientos para tratar aguas residuales municipales y/o residuos animales. Algunas realizaciones proporcionan procedimientos y aparatos para el tratamiento de otros tipos de aguas residuales, como relaves de minería o similares. Los aparatos y procedimientos descritos en el presente documento no se limitan al tratamiento de aguas residuales, sino que también tienen otras aplicaciones. El aparato y los procedimientos pueden aplicarse para precipitar materiales como, por ejemplo, estruvita, análogos de estruvita u otros compuestos que contienen fosfato de soluciones de sus iones constituyentes obtenidas de fuentes diferentes a las aguas residuales.

60 **[0019]** La figura 1 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un reactor de lecho fluidizado cónico 10 según una realización que no forma parte de la invención, pero representa la técnica anterior que es útil para entender la invención y que puede ser utilizado para precipitar sólidos disueltos de aguas residuales. El reactor 10 comprende un tanque de reacción cónico 12, una entrada 14 ubicada en la parte inferior del tanque 12 y una salida 16 en la parte superior del tanque 12. Las aguas residuales de una alimentación 18 entran en el tanque de reacción 12 en la entrada 65 14 y fluyen hacia arriba a través del tanque 12 hacia la salida 16. La alimentación 18 puede comprender aguas

residuales no tratadas o una combinación de aguas residuales no tratadas y reactivos. Las aguas residuales salen del tanque 12 por la salida 16 hacia un sistema de tuberías de efluentes conectado (no se muestra). La forma cónica del tanque 12 resulta en un gradiente de velocidad de flujo de aguas residuales que disminuye de la entrada 14 a la salida 16.

5

**[0020]** Los solutos en agua residual se precipitan en partículas sólidas 22 (por ejemplo, estruvita u otros compuestos que contienen fósforo) en el tanque 12. El flujo ascendente de las aguas residuales contrarresta la fuerza de gravedad sobre las partículas 22. Las partículas sólidas 22 se fluidizan cuando la velocidad de las aguas residuales en el tanque 12 es lo suficientemente grande como para que la fuerza de las aguas residuales sobre las partículas 22 equilibre o supere la fuerza de gravedad. Debido a que la fuerza de las aguas residuales en las partículas 22 sigue el gradiente de velocidad de las aguas residuales, las partículas de diferentes tamaños 22 serán clasificadas por tamaño a diferentes elevaciones en el tanque 12, donde las fuerzas de gravedad y el flujo de aguas residuales están en equilibrio. Las partículas más pequeñas tienden a encontrarse cerca de la parte superior del tanque 12, mientras que las partículas más grandes tienden a encontrarse más cerca de la parte inferior del tanque 12.

15

**[0021]** A medida que las partículas 22 crecen (por ejemplo, debido a la aglomeración y/o al crecimiento de cristales), tienden a moverse hacia abajo en el tanque 10. En algunas realizaciones, el flujo ascendente de aguas residuales en el reactor 12 apoya los precipitados de estruvita u otros compuestos que contienen fósforo que se forman en el reactor a través de la precipitación de materiales disueltos. A medida que los precipitados crecen con el tiempo, pueden clasificarse según el tamaño por las diferencias en el intervalo de velocidades de las aguas residuales en diferentes regiones dentro del reactor.

20

**[0022]** Es típico permitir que los precipitados crezcan hasta alcanzar al menos un tamaño mínimo antes de ser recolectados (por ejemplo, en algunas aplicaciones, es deseable recolectar estruvita en precipitados que tienen un diámetro de 1 mm o más). Los precipitados de un tamaño recolectable pueden tender a acumularse en una zona de recolección de la que pueden ser eliminados. El reactor 10 comprende un tramo de elutriación opcional 26 que puede ser útil para la recolección de precipitados de una zona de recolección. El tramo de elutriación 26 está en comunicación fluida con el tanque de reacción 12 y una fuente de fluido de elutriación (no se muestra). El fluido de elutriación fluye hacia arriba desde la parte inferior del tramo 26. Simultáneamente, las partículas precipitadas son introducidas gravitacionalmente en la parte superior del tramo 26 y viajan hacia abajo a través del tramo 26 en contracorriente al flujo de fluido de elutriación. El flujo ascendente del fluido de elutriación fluidiza el flujo descendente de las partículas precipitadas. El líquido de elutriación puede ser agua de un suministro municipal, por ejemplo. En algunas realizaciones, las partículas precipitadas en un tramo de elutriación son fluidizadas por aguas residuales desde la alimentación 18. El tramo de elutriación 26 puede comprender una válvula operable para interrumpir la comunicación fluida a lo largo del tramo de elutriación 26. El flujo de fluido en el tramo de elutriación 26 puede ajustarse utilizando un dispositivo de control de flujo (por ejemplo, un rotámetro, una válvula de control de flujo, una bomba, etc.) para rechazar selectivamente las partículas que estén por debajo de un tamaño mínimo deseado y devolverlas al reactor para permitir que crezcan más antes de la recolección. De este modo, solo se eliminan del reactor las partículas de tamaño superior al deseado por medio del tramo de elutriación 26. Se deja que las partículas más pequeñas crezcan hasta alcanzar el tamaño deseado. El fluido que fluye en el tramo de elutriación 26 puede ser suministrado desde una fuente de agua separada (por ejemplo, agua de proceso, agua potable, etc.) o puede ser extraído del flujo de reciclado o de efluente del reactor.

25

30

35

40

45

**[0023]** Para evitar la acumulación de sarro en el sistema de tuberías de efluentes conectado y asegurar un alto rendimiento de precipitación, es deseable que las aguas residuales que salen del tanque 12 contengan una baja concentración de ciertos solutos y que se pierdan pocas partículas precipitadas 22 al ser transportadas desde el tanque 12 al sistema de tuberías de efluentes. La concentración de solutos en las aguas residuales que salen del tanque 12 puede reducirse alargando el tiempo de residencia que las aguas residuales pasan en el tanque 12 para proporcionar una mayor oportunidad de que ocurra la precipitación. Esto puede lograrse, por ejemplo, aumentando el volumen del tanque 12 en relación con el caudal en la entrada 14. La presencia de partículas precipitadas 22 en las aguas residuales en las proximidades de la salida 16 puede reducirse aumentando la sección transversal del tanque 12 en su extremo superior (es decir, en una sección de clarificación) de modo que la velocidad del fluido en el extremo superior del tanque 12 sea lo suficientemente baja como para que todas las partículas precipitadas, excepto las muy pequeñas 22, se asienten antes de entrar en las proximidades de la salida 16.

55

**[0024]** La figura 2 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un reactor de lecho fluidizado 30 según una realización que no forma parte de la invención, pero representa la técnica anterior que es útil para entender la invención. El reactor 30 comprende un tanque de reacción gradualmente cónico 32 con una sección de clarificación ampliada, a saber, la sección superior 38, así como una sección inferior 34 y una sección central 36. El área de la sección transversal de la sección superior 38 es mayor que el área de la sección transversal de la sección central 36, que a su vez es mayor que el área de la sección transversal de la sección inferior 34. El reactor 30 puede funcionar de forma que la relación entre el caudal de entrada y el área de la sección transversal de la sección superior 38 del tanque 32 sea lo suficientemente pequeña como para que exista una zona de reposo 40 en la sección superior 40 del tanque. En la zona de reposo 40, la velocidad de fluido es lo suficientemente baja como para que las partículas precipitadas tiendan a asentarse fuera de la zona de reposo 40.

60

65

**[0025]** Las secciones de clarificación de grandes áreas de sección transversal están asociadas con varios costes. Una sección transversal mayor corresponde a una mayor masa de agua residual en la sección de clarificación. Para ofrecer una idea general de la masa involucrada, se considera que una sección cilíndrica de agua que mide 5 metros de diámetro por 1,5 metros de altura tendrá una masa de aproximadamente 29,4 toneladas métricas. Cuando se eleva una sección de clarificación grande para proporcionar un flujo de aguas residuales en contragravedad, pueden ser necesarios soportes estructurales robustos para soportar la masa de aguas residuales contenida en la sección de clarificación. En el reactor 30, el peso de las aguas residuales en la sección superior 38 es soportado por los soportes estructurales 42 y 44. Los tanques más grandes también tienen mayores costes de construcción y requieren más espacio de instalación. Los tanques más grandes pueden implicar dificultades prácticas en la fabricación y el transporte de los tanques a los lugares donde se instalarán.

**[0026]** El reactor 10 tiene una vía de reciclado opcional 24 por la cual las aguas residuales se devuelven al reactor aguas arriba de la entrada 14. La vía de reciclado 24 provoca que al menos algunas aguas residuales circulen a través del tanque más de una vez antes de salir al sistema de tuberías de efluentes, proporcionando así una mayor oportunidad para la formación de partículas (por ejemplo, por nucleación) y el crecimiento (por ejemplo, por aglomeración y/o crecimiento de cristales). La vía de reciclado 24 también aumenta la tasa de flujo de fluido y, en consecuencia, la velocidad del fluido, en el tanque 12 entre el retorno de la vía de reciclado 24 y la parte superior del tanque 12.

**[0027]** Debido a que la vía de reciclado 24 aumenta la velocidad del fluido en el tanque 12, esto resulta en un aumento de la velocidad del fluido en la región de la salida 16. Esto aumenta el tamaño y el número de partículas precipitadas que pueden ser soportadas por el flujo de fluido en la proximidad de la salida 16, y a su vez puede conducir a un mayor número de partículas precipitadas arrastradas desde el tanque 12 hasta la salida 16. Aunque el aumento de las partículas precipitadas que salen del tanque 12 debido al efecto de la vía de reciclado 24 puede compensarse aumentando el área de la sección transversal del tanque 12 en relación con el caudal de entrada para permitir una mayor decantación (por ejemplo, como se muestra en la figura 2), esto disminuye la eficiencia del reciclado, ya que da lugar a que se reciclen menos partículas para someterlas a la aglomeración y al crecimiento de cristales (por ejemplo, porque las partículas pueden tender a decantarse fuera de la toma de la vía de reciclado 24), y tiene los inconvenientes de un tanque más grande.

**[0028]** El efecto del caudal de reciclado sobre el arrastre de partículas precipitadas a través de la salida 16 del reactor 10 también puede estar en conflicto con el uso del reactor 10 para obtener una alta recuperación de estruvita desde la alimentación de aguas residuales 18 que tienen altas concentraciones de fósforo. En algunas aplicaciones, la alimentación de aguas residuales 18 puede tener concentraciones de fósforo superiores a 60 mg/L como PO-P, y tan altas como 10.000 mg/L como P04-P. Para obtener una alta recuperación de fosfato (por ejemplo, más del 70 % o más del 90 %) como precipitados grandes de estruvita (por ejemplo, de 0,5 mm a 5 mm de diámetro), debe mantenerse una relación de supersaturación relativamente baja en el tanque 12 (por ejemplo, una relación de supersaturación inferior a 5). Para mantener estas bajas relaciones de supersaturación en presencia de una alimentación altamente concentrada, pueden ser deseables relaciones de reciclado a alimentación de al menos 3 a 1 a 100 a 1 o más.

**[0029]** La figura 3 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un reactor de lecho fluidizado cónico 50 según una realización que no forma parte de la invención, pero representa la técnica anterior que es útil para entender la invención. El reactor 50 comprende un tanque de reacción cónico 52, una entrada 54 y una salida 56. La entrada 54 puede ubicarse, por ejemplo, en o cerca de la porción inferior del tanque de reacción 52. En algunas realizaciones, la entrada 54 se ubica en la parte inferior del tanque de reacción 52. En algunas realizaciones, la entrada 54 se ubica en la mitad inferior del tanque de reacción 52. En algunas realizaciones, la entrada 54 se ubica en el tercio inferior del tanque de reacción 52. En algunas realizaciones, la entrada 54 se ubica en el cuarto inferior del tanque de reacción 52. La salida 56 puede ubicarse, por ejemplo, en o cerca de la porción superior del tanque de reacción 52. En algunas realizaciones, la salida 56 se ubica en la parte superior del tanque de reacción 52. En algunas realizaciones, la salida 56 se encuentra en el cuarto superior del tanque de reacción 52. Algunas realizaciones comprenden una pluralidad de entradas y/o salidas.

**[0030]** Las aguas residuales de una alimentación 58 entran en el tanque de reacción 52 en la entrada 54 y salen del tanque 52 en la salida 56. En la realización ilustrada, la entrada 54 se dirige hacia arriba y el flujo de fluido introducido desde la entrada 54 al tanque de reactor 52 se dirige hacia arriba. La entrada 54 y/o la salida 56 puede orientarse sustancialmente vertical, sustancialmente horizontal o en ángulo con el tanque de reactor 52.

**[0031]** El reactor 50 comprende una vía de reciclado 60. Las aguas residuales entran en la vía de reciclado 60 en una toma 62 ubicada aguas abajo de la entrada 54 y aguas arriba de la salida 56. La vía de reciclado 60 devuelve al menos parte de las aguas residuales eliminadas al tanque 52 aguas arriba de la toma 62 en un retorno 64. En la realización ilustrada, la toma 62 se ubica por encima de la entrada 54 y por debajo de la salida 56. Dado que la vía de reciclado 60 extrae el fluido aguas arriba de la salida 56, la velocidad del fluido en el tanque 52 aguas abajo de la toma 62 (por ejemplo, por encima) no depende en gran medida del caudal de la vía de reciclado 60. Por consiguiente, el

caudal de la vía de reciclado 60 puede aumentarse sin aumentar en consecuencia la velocidad del fluido en las proximidades de la salida 56. Como resultado, el reactor 50 puede operarse con una relación de reciclado alta, pero con un volumen relativamente pequeño en la zona de reposo 65 (por ejemplo, en términos de área de sección transversal y/o volumen) entre la toma 62 y la salida 56.

5

**[0032]** En la realización ilustrada, la vía de reciclado 60 comprende una unidad de control de flujo 61. La unidad de control de flujo 61 puede comprender un elemento estrangulador, como una válvula o similares. La unidad de control de flujo 61 puede comprender una bomba o similares. Las bombas de codo, las bombas de hélice y los tubos difusores son tipos de bombas que tienden a ser buenas para aplicaciones de alto caudal y poca presión. Dichas bombas pueden incorporarse en la unidad de control de flujo 61. Sin embargo, también se pueden utilizar en esta aplicación bombas de otros tipos adecuados. De manera ventajosa, las bombas incorporadas en la unidad de control de flujo 61 son de tipos que proporcionan turbulencia relativamente baja ya que es menos probable que dichas bombas causen más turbulencia en comparación con las bombas que causan turbulencia para formar depósitos de sarro de estruvita al tratar aguas residuales saturadas con CO<sub>2</sub>. Los dispositivos de bombeo de baja turbulencia también tienen menos probabilidades de causar daños mecánicos o desgaste a las partículas finas de estruvita que se reciclan a través de la vía de reciclado, lo que fomenta la formación de partículas más grandes en el reactor.

10

15

**[0033]** La unidad de control de flujo 61 puede conectarse a un suministro de fluido e introducir fluido en la vía de reciclado 60, como por ejemplo un fluido de lavado (por ejemplo, agua potable, ácido mineral u orgánico).

20

**[0034]** En algunas realizaciones, el caudal de la vía de reciclado 60 es al menos tres veces el caudal de la alimentación 58. La relación del caudal de la vía de reciclado 60 con respecto al flujo de alimentación 58 puede ser 100:1 o más en algunas realizaciones. En realizaciones para aplicaciones de aguas residuales de alta resistencia (por ejemplo, 10 000 mg/L P) pueden ser útiles las altas relaciones de reciclado. Dichas relaciones de reciclado pueden ser de 300:1 o más.

25

**[0035]** En algunas realizaciones, el área de sección transversal de la zona de reposo por encima de la toma 62 puede reducirse por un factor de 3 o más, en comparación con un reactor de dimensiones similares en el que una vía de reciclado extrae agua de la parte superior de su tanque de reactor.

30

**[0036]** La unidad de control de flujo 61 u otras características de la vía de reciclado 60 pueden romper partículas precipitadas más grandes en partículas precipitadas más pequeñas. La eficiencia del reactor 50 en el desarrollo de precipitados de estruvita grandes puede verse afectada si las partículas precipitadas más grandes son arrastradas a la vía de reciclado 60 y se rompen en partículas precipitadas más pequeñas. El tanque de reactor 52 se estrecha desde una primera sección transversal 66 por debajo de la toma 62 hasta una segunda sección transversal más pequeña 68 aguas arriba y por debajo de la primera sección transversal 66. El estrechamiento del tanque 52 desde la primera sección transversal 66 hasta la segunda sección transversal 68 da como resultado un gradiente de la velocidad de las aguas residuales y una correspondiente distribución de gradiente de las partículas precipitadas según el tamaño. Debido a que la toma 62 se ubica por encima de la primera sección transversal 66, el reactor 50 puede funcionar de manera que las aguas residuales que entran en la vía de reciclado 60 contengan partículas precipitadas relativamente finas, si las hay, en lugar de partículas relativamente grandes. El reciclado de partículas precipitadas relativamente finas puede fomentar un crecimiento cristalino más uniforme.

35

40

**[0037]** En el reactor 50, el retorno 64 de la vía de reciclado 60 se ubica aguas arriba de la entrada 54. Las aguas residuales recicladas pueden introducirse en la entrada 54 o aguas abajo de la entrada 54 en la base del reactor 52 a través de un conducto de reciclado externo o a través de un tubo difusor, por ejemplo. La reintroducción de partículas precipitadas finas aguas arriba de y/o cerca de la entrada del reactor 52 permite que las aguas residuales recicladas se mezclen con alimentación fresca y reactivos, lo que puede favorecer el rápido crecimiento de cualquier partícula precipitada fina que se encuentre en las aguas residuales recicladas.

50

**[0038]** El reactor 50 comprende un distribuidor de flujo opcional 69. El distribuidor de flujo 69 está configurado para recoger las aguas residuales del tanque 52 y transportarlas a la toma 62. El distribuidor de flujo 69 puede comprender uno o más puertos (no mostrados) en los cuales las aguas residuales del tanque 52 pueden ser extraídas por el distribuidor de flujo 69. Los puertos del distribuidor de flujo 69 pueden estar dispuestos para extraer las aguas residuales de diferentes ubicaciones en el tanque de reactor 52. En algunas realizaciones, se disponen puertos de flujo 69 para extraer aguas residuales de ubicaciones diferentes de una sección transversal de tanque 52. Por ejemplo, el distribuidor de flujo 69 puede comprender un conjunto de puertos dispuestos para extraer aguas residuales de una pluralidad de diferentes ubicaciones distribuidas a través de una sección transversal de tanque 52. En algunas realizaciones, se disponen puertos del distribuidor de flujo 69 de modo que el distribuidor de flujo 69 pueda extraer agua de manera sustancialmente uniforme de una sección transversal de tanque 52.

55

60

**[0039]** La extracción uniforme de aguas residuales recicladas puede ayudar a mantener una distribución uniforme del flujo en el lecho fluidizado por debajo de la toma 62 y puede evitar el cortocircuito del flujo de aguas residuales desde la entrada 54 hasta la vía de reciclado 60. El distribuidor de flujo 69 puede comprender, por ejemplo, un colector de distribución de flujo, un dique sumergido o similar.

65

**[0040]** En la realización ilustrada, el distribuidor de flujo 69 es sustancialmente plano, y los puertos del distribuidor de flujo 69 pueden disponerse para extraer aguas residuales a través de una sección transversal plana correspondiente del tanque 52. En algunas realizaciones, un reactor comprende un distribuidor de flujo no plano (por ejemplo, un distribuidor de flujo en forma de cono o similar) y pueden disponerse puertos del distribuidor de flujo para extraer agua residual a través de una superficie no plana correspondiente en el tanque 52.

**[0041]** En muchos casos, la pérdida de presión resultante del flujo a través del distribuidor de flujo será suficiente para eliminar algunos gases disueltos de la solución en el distribuidor de flujo. Por ejemplo, en los casos en que las aguas residuales tratadas están saturadas de CO<sub>2</sub> o de ácido carbónico, puede producirse una desgasificación de CO<sub>2</sub> (con el consiguiente aumento del pH) en el distribuidor de flujo. Esto puede fomentar la precipitación de estruvita en el distribuidor de flujo (por ejemplo, la precipitación en colectores, orificios, propulsores de bomba y/o tuberías). Por esta razón, es ventajoso que las superficies del distribuidor de flujo estén recubiertas con un revestimiento resistente al sarro como Teflon™, Kynar™ (PVDF), Hylar™ o un revestimiento de vidrio. La estruvita no se adhiere bien a dichos revestimientos. Como resultado, la estruvita que se precipita en el distribuidor de flujo quedará atrapada en el flujo como material particulado fino en lugar de formar masas pesadas en las paredes de los colectores u obstruir los orificios de los colectores o similares. La formación de sarro en el distribuidor de flujo o en la línea de reciclado es una carga en términos de mantenimiento, tanto porque la formación de sarro puede obstruir las tuberías hasta el punto en que se impide el flujo, como porque si se permite la acumulación de sarro, fragmentos de sarro duro que son lo suficientemente grandes como para dañar el equipo de bombeo aguas abajo pueden romperse.

**[0042]** Algunas realizaciones comprenden una pluralidad de distribuidores de flujo. Los distribuidores de flujo de algunas de dichas realizaciones pueden configurarse de manera que las aguas residuales se extraigan de diferentes regiones que tengan aproximadamente la misma velocidad de flujo de fluido. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la velocidad de las aguas residuales cerca del centro de un tanque es mayor que la velocidad de las aguas residuales cerca de la pared del tanque. Un reactor cónico de apertura hacia arriba puede comprender un primer distribuidor de flujo configurado para hacer que las aguas residuales sean extraídas de una región central y un segundo distribuidor de flujo ubicado debajo del primer distribuidor de flujo configurado para hacer que las aguas residuales sean extraídas de una región periférica concéntrica y radialmente hacia afuera de la región central. Múltiples distribuidores de flujo pueden configurarse para dirigir las aguas residuales a las mismas o diferentes tomas de una o más vías de reciclado.

**[0043]** En algunas realizaciones, la relación de reciclado (por ejemplo, la relación de flujo a través de la vía de reciclado 60 al flujo en la salida 56) puede ser monitoreada y/o controlada. Algunas realizaciones comprenden un sistema de control, tal como un controlador de proceso, configurado para controlar la relación de reciclado como, por ejemplo, ajustando una compuerta en la toma 62, una compuerta en el retorno 64, una compuerta en el distribuidor de flujo 69 y/o una bomba configurada para extraer fluido a través de la vía de reciclado 60. Por ejemplo, algunas realizaciones comprenden un sistema de control que tiene las características descritas en la patente estadounidense n.º 7.622.047, Koch y col., titulada «Fluidized bed wastewater treatment», que se incorpora en el presente documento como referencia.

**[0044]** En algunas realizaciones, el tanque de reactor 52 es gradualmente cónico; es decir, comprende una pluralidad de secciones adyacentes que tienen diferentes secciones transversales. Por ejemplo, el tanque 52 puede comprender un conducto de orientación sustancialmente vertical que tiene una sección de recolección y una o más secciones por encima de la sección de recolección. El número de secciones en el conducto puede variar. En algunos casos, hay dos o más secciones verticalmente secuenciales por encima de la zona de recolección. Las secciones del conducto pueden ser cilíndricas, por ejemplo.

**[0045]** En algunas realizaciones, una sección transversal del tanque 52 por encima de la toma 62 es la misma que una sección transversal en y/o inmediatamente por debajo de la toma 62. En algunas realizaciones, una sección transversal de tanque 52 por encima de la toma 62 es más pequeña que una sección transversal en la toma 52.

**[0046]** En algunas realizaciones, el volumen de tanque de reactor 52 y el volumen de fluido introducido en la toma 62 es tal que el tiempo de residencia medio de agua residual en el tanque 52 aguas abajo de (por encima de) la toma 62 es al menos de unos pocos minutos. En algunas realizaciones, el tiempo de residencia medio se encuentra en el intervalo de 3 a 100 minutos. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la tasa de alimentación y la tasa de reciclado son tales que el tiempo de retención de fluido en el tanque de reactor 52 aguas arriba del colector de reciclado es inferior a 10 minutos. Por ejemplo, aproximadamente de 3 a 7 minutos en algunas realizaciones.

**[0047]** La altura del reactor puede seleccionarse de tal manera que el volumen del reactor sea lo suficientemente grande como para permitir que los precipitados crezcan hasta alcanzar el tamaño deseado. En las realizaciones prototipo, se ha descubierto que los precipitados de estruvita crecen en diámetro a un ritmo de aproximadamente 0,1 a 0,3 mm por día. Con este ritmo de crecimiento, para permitir que los precipitados crezcan a un tamaño de 3 mm de diámetro se requiere un tiempo de permanencia de los precipitados en el tanque de reactor 52 de aproximadamente 10 a 30 días. Por ejemplo, los precipitados de tamaños en el rango de 0,5 a 4,0 mm pueden ser



cultivados en 5 a 15 días en algunas realizaciones.

**[0048]** La figura 4 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un reactor de lecho fluidizado cónico 70 según una realización ejemplar. El reactor 70 comprende un tanque de reactor gradualmente cónico 72, una entrada 74 y una salida 76. El estrechamiento gradual del tanque 72 define cuatro secciones: una sección de clarificación 72A, una sección de decantación 72B, una sección de reacción 72C y una sección de recolección 72D. Se debe apreciar que los nombres asignados a las secciones 72A-72D son solo a título ilustrativo y no deben interpretarse en el sentido de que limitan la funcionalidad de una sección a una funcionalidad indicada o sugerida por su nombre o que excluyen de la funcionalidad de cualquier sección una funcionalidad indicada o sugerida por el nombre de cualquier otra sección.

10 La sección transversal de la sección de clarificación 72A es menor que la sección de decantación 72B. La sección transversal de la sección de decantación 72B es mayor que la sección transversal de la sección de reacción 72C. La sección transversal de la sección de decantación 72C es mayor que la sección transversal de la sección de recolección 72D. Se apreciará que un tanque gradualmente cónico puede incluir un mayor o menor número de secciones. La entrada 74 se ubica en la base de la sección de recolección 72D. La salida 76 se ubica en la parte superior de la

15 sección de clarificación 72A.

**[0049]** El estrechamiento gradual del tanque de reactor 72 puede dar lugar a que las partículas precipitadas se clasifiquen entre las diferentes secciones según su tamaño. En la realización ilustrada, las paredes de las secciones del tanque 72 son verticales y están unidas por baldas horizontales. En algunas realizaciones, las paredes de las secciones de un tanque están unidas por baldas angulares. Los baldas angulares pueden fomentar el movimiento hacia abajo de las partículas precipitadas de las secciones superiores del tanque a las secciones inferiores del tanque.

20

**[0050]** El reactor 70 comprende una vía de reciclado 80 que se extiende desde un colector de admisión 82 ubicado en la base de la sección de decantación 72B hasta un retorno 84 aguas arriba de la entrada 74. Como se muestra en la figura 4A, el colector 82 comprende una viga colectora 84 y una pluralidad de brazos colectores 86 que se extienden hacia afuera desde el mismo. La viga colectora 84 y los brazos colectores 86 comprenden puertos, por ejemplo, los orificios 88, a través de los cuales las aguas residuales son arrastradas a la vía de reciclado 80. La disposición de los orificios 88 del colector 82 puede ser tal que el colector 82 pueda extraer las aguas residuales de manera sustancialmente uniforme de una sección transversal del tanque 72. En algunas realizaciones, los orificios 88

25

30 están orientados hacia arriba. Esto facilita la limpieza de los orificios de la parte superior del reactor con un limpiador a presión o un cepillo largo, por ejemplo. El colector puede extenderse hacia o a través de la pared del recipiente. El colector puede tener puertos de acceso (no mostrados) en uno o ambos extremos para permitir la limpieza del interior del colector desde el exterior del recipiente.

**[0051]** Al extraer las aguas residuales recicladas de la zona de decantación básica 72B, la velocidad del fluido en la parte superior de la sección de decantación 72B y de la sección de clarificación 72A se desacoplan sustancialmente del caudal en la entrada 74, y principalmente en función del caudal de alimentación 78 y las áreas de sección transversal de las secciones 72A y 72B. Al reducir la relación del caudal en la sección de clarificación 72A en relación con el caudal de la vía de reciclado 80, la velocidad del fluido en la sección de clarificación 72A puede controlarse independientemente de la sección transversal de la sección de clarificación 72A. Con una relación suficientemente baja, la velocidad del fluido en una sección de clarificación relativamente pequeña 72A puede reducirse hasta el punto de que las partículas pequeñas arbitrariamente precipitadas no están protegidas contra la fuerza de la gravedad y el tiempo medio de permanencia de las aguas residuales en la sección de clarificación 72A puede ser arbitrariamente largo. Como resultado, se pueden lograr niveles aceptables de precipitación de solutos con una sección de clarificación relativamente pequeña 72A (por ejemplo, en términos de área de sección transversal y/o volumen) que, en comparación con una sección de clarificación más grande 72A, tiene la ventaja de reducir los costes de construcción (por ejemplo, una sección de clarificación más pequeña contendrá una masa menor de aguas residuales y, por lo tanto, puede apoyarse con una estructura de soporte de elevación menos robusta), reducir el espacio ocupado por la instalación y reducir los costes de transporte (por ejemplo, menor dificultad al transportar un

35

40

45

50 tanque de un reactor fabricado fuera del sitio).

**[0052]** En algunas realizaciones, el colector 82 u otro tipo de distribuidor de flujo, se ubica en la parte superior de la sección de reacción 72C. En algunas realizaciones, el colector 82 u otro tipo de distribuidor de flujo, se ubica a ambos lados de un límite entre la sección de decantación 72B y la sección de reacción 72C. En realizaciones, donde un distribuidor de flujo se ubica a ambos lados de un límite entre secciones adyacentes que tienen diferentes secciones transversales, el caudal será diferente en relación con el de entre las secciones adyacentes. El colector 82 puede ubicarse en la sección de aclaración 72A o a ambos lados del límite entre la sección de aclaración 72A y la sección de decantación 72B.

55

**[0053]** En algunas realizaciones, el colector 82 se ubica en la interfaz entre una sección inferior (aguas arriba) que tiene una primera sección transversal y una sección superior (aguas abajo) que tiene una segunda sección transversal más pequeña que la primera sección transversal. En algunas de dichas realizaciones, la relación de admisión del colector es mayor que un umbral  $F_R$ , donde  $F_R$  es dado por

$$F_R = F_L \left( 1 - \frac{\sigma_H}{\sigma_L} \right)$$

donde  $F_L$  es el caudal de aguas residuales en la sección inferior,  $a_L$  es el área de la primera sección transversal (de la sección inferior) y  $\sigma_H/a_L$  es el área de la segunda sección transversal (de la sección superior). Se apreciará que en dichas realizaciones, el efecto decreciente de la sección transversal del conducto entre las secciones inferior y superior en cuanto a la velocidad de flujo es al menos compensado por el efecto reductor del caudal en la sección superior.

**[0054]** La figura 5 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un reactor de lecho fluidizado cónico 90 según una realización ejemplar. El reactor 90 comprende un tanque de reactor cónico 92, una entrada 94 y una salida 96. El reactor 90 comprende una vía de reciclado 100 que se extiende desde un dique de admisión sumergido 102 ubicado por debajo de una placa de distribución de flujo opcional 104 hasta un retorno 106 aguas arriba de la entrada 94. La placa de distribución de flujo 104 hace que el fluido que fluye hacia arriba sea al menos parcialmente desviado periféricamente (por ejemplo, radialmente hacia afuera) hacia el dique 102, cuya cúspide define un puerto. La placa de distribución de flujo 104 puede perforarse (por ejemplo, la placa de distribución de flujo 104 puede comprender un filtro). En algunas realizaciones, la cara descendente de la placa de distribución de flujo se inclina hacia abajo (por ejemplo, en forma cónica descendente, piramidal descendente, etc.). En algunas realizaciones, la cara ascendente de la placa de distribución de flujo es convexa hacia arriba (por ejemplo, en forma cónica ascendente, piramidal ascendente, etc.).

**[0055]** La figura 6 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un reactor de lecho fluidizado cónico 110 según una realización ejemplar. El reactor 110 comprende un tanque de reactor 112, una entrada 114 y una salida 116. El reactor 110 comprende una vía de reciclado 120 que se extiende desde una disposición de canal sumergida 122 hasta un retorno 126 aguas arriba de la entrada 114. Como se muestra en la figura 6A, la disposición de canal 122 comprende una pluralidad de puertos dispuestos radialmente, es decir, canales 124. La disposición de canal 122 extrae el fluido que fluye hacia la vía de reciclado 120 a través de una sección transversal del tanque 112.

**[0056]** Al extraer las aguas residuales recicladas de la disposición de canal 122, el caudal y la velocidad de fluido en la parte del tanque de reactor 112 por encima de la disposición de canal 122 se desacoplan sustancialmente del caudal y la velocidad de fluido en la parte del tanque de reactor 112 por debajo de la disposición de canal 122. Al reducir la relación del caudal por encima de la disposición de canal 122 con respecto al caudal por debajo de la disposición de canal 122 (por ejemplo, aumentando el caudal de la vía de reciclado 120), la velocidad de fluido en la parte del tanque de reactor 112 por encima de la disposición de canal 122 puede controlarse independientemente de la sección transversal de esa parte del tanque de reactor 112. Con una relación suficientemente baja, la velocidad del fluido en la parte del tanque de reactor 112 por encima de la disposición de canal 122 puede reducirse hasta el punto de que las partículas pequeñas arbitrariamente precipitadas no estén protegidas contra la fuerza de la gravedad y el tiempo medio de permanencia de las aguas residuales en esa parte del tanque de reactor 112 puede ser arbitrariamente largo. Como resultado, el reactor 110 puede alcanzar niveles aceptables de precipitación de solutos con un tanque de reactor relativamente pequeño 112 (por ejemplo, en términos de área de sección transversal y/o volumen) que, en comparación con un tanque de reactor más grande 112, tiene la ventaja de reducir los costes de construcción (por ejemplo, un tanque de reactor contendrá una masa menor de aguas residuales y, por lo tanto, puede apoyarse con una estructura de soporte de elevación menos robusta), reducir el espacio ocupado por la instalación y reducir los costes de transporte (por ejemplo, menor dificultad al transportar un tanque de reactor fabricado fuera del sitio).

**[0057]** La figura 7 es un diagrama de flujo de un procedimiento 130 para precipitar solutos de aguas residuales en un tanque de reactor según una realización ejemplar. En la etapa 140, el agua residual fluye al tanque del reactor desde una entrada o colector de entrada del tanque del reactor. La etapa 140 puede comprender introducir agua residual de alimentación en el tanque de reactor (por ejemplo, el agua residual que fluye a la entrada en la etapa 140 puede comprender agua residual de alimentación).

**[0058]** En la etapa 160, las aguas residuales se eliminan del tanque de reactor aguas arriba de una salida de efluente del tanque del reactor. En algunas realizaciones, la etapa 160 comprende eliminar aguas residuales al menos a una distancia vertical de 12 a 30 pies por encima de una entrada de alimentación al tanque de reacción. La etapa 160 puede comprender la extracción de aguas residuales para su eliminación de una pluralidad de ubicaciones diferentes en el tanque del reactor. Por ejemplo, la etapa 160 puede comprender eliminar aguas residuales con uno o más distribuidores de flujo que tienen puertos dispuestos para extraer aguas residuales de diferentes ubicaciones distribuidas a través de una sección transversal del tanque del reactor. La etapa 160 puede comprender eliminar aguas residuales de manera sustancialmente uniforme de una sección transversal del tanque del reactor. En algunas realizaciones, la etapa 160 comprende extraer aguas residuales para la eliminación de una pluralidad de regiones diferentes en el tanque de reactor en el cual la velocidad de flujo de aguas residuales es sustancialmente igual.

**[0059]** La etapa 160 puede comprender estrangular, bombear o en cualquier caso controlar la velocidad a la

que se eliminan las aguas residuales del tanque del reactor. En algunas realizaciones, la etapa 160 comprende eliminar las aguas residuales a una velocidad proporcional a la velocidad a la que las aguas residuales de alimentación se introducen en el tanque de reactor (por ejemplo, en la etapa 140). En algunas realizaciones, la etapa 160 comprende eliminar las aguas residuales a una velocidad de 3 a 300 veces mayor que la velocidad a la que se introducen las 5 aguas residuales de alimentación en el tanque del reactor.

**[0060]** En algunas realizaciones, la etapa 160 comprende eliminar las aguas residuales a una velocidad tal que la velocidad de las aguas residuales inmediatamente aguas arriba del punto en el que las aguas residuales se eliminan para su reciclado se encuentre en el rango de 50 a 200 cm/min. La relación entre la velocidad media del flujo 10 inmediatamente por debajo del punto en el que se eliminan las aguas residuales para su reciclado y la velocidad media del flujo inmediatamente por encima del punto en el que se eliminan las aguas residuales para su reciclado puede estar, por ejemplo, en el rango de aproximadamente 4 a 300.

**[0061]** En la etapa 170, las aguas residuales eliminadas se vuelven a introducir en el tanque del reactor aguas 15 arriba de donde se eliminaron las aguas residuales en la etapa 160. La etapa 170 puede comprender volver a introducir las aguas residuales eliminadas en la entrada del tanque del reactor, aguas arriba de la entrada del tanque del reactor y/o aguas abajo de la entrada del tanque del reactor. En algunas realizaciones, la etapa 170 comprende volver a introducir las aguas residuales eliminadas en una pluralidad de ubicaciones diferentes aguas arriba de donde se eliminaron las aguas residuales recicladas en la etapa 160. La etapa 170 puede comprender mezclar las aguas 20 residuales eliminadas con un fluido de lavado (por ejemplo, agua no potable, ácidos minerales u orgánicos), reactivos (por ejemplo, fuentes de Mg como  $Mg(OH)_2$ ,  $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$  y similares, fuentes de amoníaco como el gas amoníaco, el amoníaco anhidro, el hidróxido de amonio, el sulfato de amonio, el fosfato monoamónico, el fosfato diamónico, el polifosfato amónico y similares y/o fuentes de fosfato como el fosfato trisódico, el ácido fosfórico, el fosfato monoamónico, el polifosfato amónico, el fosfato diamónico y similares).

**[0062]** Algunas realizaciones comprenden la etapa opcional 150. En la etapa 150, se reduce la velocidad de las aguas residuales que fluyen aguas abajo de la entrada. La etapa 140 y la etapa 150 pueden combinarse. En realizaciones en las que el procedimiento 130 incluye la etapa 150, la etapa 160 puede comprender eliminar las aguas residuales con una velocidad inferior a la de las aguas residuales en el punto en el que se vuelve a introducir agua 30 residual reciclada en la etapa 170. La etapa 150 puede comprender hacer fluir agua residual aguas abajo de la entrada a través de una sección del tanque del reactor de sección transversal creciente como, por ejemplo, un conducto continuamente cónico o gradualmente cónico. Cuando las partículas se forman a partir de solutos precipitados en las aguas residuales, la reducción de las aguas residuales que fluyen de forma ascendente puede causar que las partículas se distribuyan a lo largo de un gradiente de velocidad.

**[0063]** En la etapa 180, las aguas residuales aguas abajo de un punto en el que se eliminan las aguas residuales en la etapa 160 (por ejemplo, una toma de reciclado) fluyen hacia arriba. En la etapa 200, las aguas residuales se eliminan en la salida de efluente del tanque del reactor. La etapa 200 puede comprender eliminar las aguas residuales a una velocidad sustancialmente igual a la velocidad a la que las aguas residuales de alimentación 40 se introducen en el tanque de reactor en la etapa 140. En algunas realizaciones, la etapa 200 comprende eliminar aguas residuales al menos a una distancia vertical de 30 a 150 cm por encima de un punto en el que el agua residual es eliminada en la etapa 160.

**[0064]** Algunas realizaciones comprenden la etapa opcional 190. En la etapa 190, se reduce la velocidad de las aguas residuales que fluyen aguas abajo de un punto en el que se eliminan las aguas residuales para su reciclado 45 en la etapa 160 (por ejemplo, una toma de reciclado). La etapa 180 y la etapa 190 pueden combinarse. En realizaciones en las que el procedimiento 130 incluye la etapa 190, la etapa 200 puede comprender eliminar las aguas residuales con una velocidad inferior a la velocidad de las aguas residuales en el punto en el que se eliminaron las aguas residuales para su reciclado en la etapa 160. La etapa 190 puede comprender hacer fluir aguas residuales aguas abajo 50 de la toma de reciclado a través de una sección del tanque del reactor que tiene una sección transversal mayor que la sección transversal del tanque del reactor en la toma de reciclado.

**[0065]** En algunas realizaciones, la etapa 190 comprende reducir la velocidad de las aguas residuales de modo que la velocidad de las aguas residuales aguas arriba de un punto en el que las aguas residuales se eliminan en la salida del efluente en la etapa 200 (por ejemplo, en una sección de clarificación del tanque del reactor) sea lo 55 suficientemente pequeña como para evitar que partículas más grandes que un tamaño dado salgan del tanque de reacción en la salida del efluente.

**[0066]** La figura 8 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un reactor de lecho fluidizado cónico 250 60 según una realización ejemplar. El reactor 250 de la realización de la figura 8 es generalmente similar al reactor 50 de la realización de la figura 3, y se utilizan números de referencia similares para referirse a componentes similares, excepto que los números de referencia de los componentes del reactor 250 están precedidos por el número «2». El reactor 250 difiere del reactor 50 en que la vía de reciclado 260 del reactor 250 transporta el agua de la toma 262 al tanque del reactor 252 en un retorno 264 separado de la entrada 254 donde se introduce la alimentación 258 en el 65 tanque 252. En la realización ilustrada, el retorno 264 se ubica aguas abajo de la entrada 254. En otras realizaciones,

el retorno 264 puede ubicarse aguas arriba y/o por debajo de la entrada 254. En algunas realizaciones, una vía de reciclado devuelve las aguas residuales recicladas a un tanque de reactor en una pluralidad de ubicaciones diferentes. En algunas realizaciones, una pluralidad de vías de reciclado devuelve las aguas residuales recicladas a un tanque de reactor en una sola ubicación. En algunas realizaciones, una pluralidad de vías de reciclado devuelve las aguas residuales recicladas a un tanque de reactor en una pluralidad de ubicaciones diferentes.

**[0067]** La figura 9 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un reactor de lecho fluidizado cónico 300 según una realización ejemplar. El reactor 300 comprende un tanque de reactor gradualmente cónico 302. El estrechamiento gradual del tanque 302 define cuatro secciones: una sección de clarificación 302A, una sección de decantación 302B, una sección de reacción 302C y una sección de recolección 302D. Se debe apreciar que los nombres asignados a las secciones 302A-302D son sólo a título ilustrativo y no deben interpretarse en el sentido de que limitan la funcionalidad de una sección a una funcionalidad indicada o sugerida por su nombre o que excluyen de la funcionalidad de cualquier sección una funcionalidad indicada o sugerida por el nombre de cualquier otra sección. La sección transversal de la sección de clarificación 302A es mayor que la sección transversal de la sección de decantación 302B. La sección transversal de la sección de decantación 302B es mayor que la sección transversal de la sección de reacción 302C. La sección transversal de la sección de decantación 302C es mayor que la sección transversal de la sección de recolección 302D.

**[0068]** La alimentación de aguas residuales 310 se realiza a través de una válvula de control 312 hasta la parte inferior de la sección de recolección 302D. Las aguas residuales fluyen hacia arriba a través del tanque 302 hasta un dique ajustable 316 ubicado en la parte superior de la sección de clarificación 302A. El agua se derrama sobre el dique ajustable 316 en un canal de efluentes 318. El suelo del canal de efluentes 318 está debajo del fondo del dique 316 y tiene una pendiente para recoger efluentes en uno o varios puntos del canal conectados a la tubería de efluentes. El efluente en el canal 318 por encima del nivel de la tubería o embudo de efluente 320 se lleva a cabo desde el canal 318 a una salida de efluente 322.

**[0069]** En la interfaz entre la parte superior de la sección de decantación 302B y la parte inferior de la sección de clarificación 302A se ubica una toma de reciclado de aguas residuales 330. La toma de reciclado de aguas residuales 330 comprende una válvula operable 332 para controlar el flujo de aguas residuales a través de la toma 330. La toma de reciclado de aguas residuales 330 proporciona aguas residuales recicladas a una vía de reciclado 340. La vía de reciclado 340 vuelve a introducir aguas residuales recicladas a la sección de recolección 302D en un retorno de reciclado 350. Un sistema de bombeo (no mostrado) mueve las aguas residuales a lo largo de la vía de reciclado 340.

**[0070]** Se conecta un tramo de elutriación a la sección de recolección 302D. El fluido de una fuente de fluido 373 se suministra al tramo de elutriación 302D por medio de una bomba 374. El tramo de elutriación 302D comprende una válvula limitadora operable 372 junto con la bomba 374 para controlar la velocidad del fluido en el tramo de elutriación 302D. Las partículas precipitadas que son lo suficientemente grandes pueden entrar en el tramo de elutriación 302D contra el flujo de fluido. Dichas partículas precipitadas (por ejemplo, precipitados de estruvita) de la sección de recolección 302D pueden pasar a lo largo del tramo de elutriación 302D a una válvula 378. Las partículas precipitadas junto con una pequeña cantidad de aguas residuales pueden ser descargadas a través de la válvula 378 para el desaguado y la manipulación, almacenamiento o envasado del producto.

**[0071]** No es obligatorio que la vía de reciclado sea externa a un reactor. En algunas realizaciones, parte o toda la vía de reciclado se encuentra dentro del volumen del reactor. La figura 10 es un diagrama que representa esquemáticamente un reactor de lecho fluidizado cónico 400 con una vía de reciclado interna que se extiende desde un colector de reciclado 409 ubicado por debajo de la salida 420, a través de un dispositivo de control de flujo del tipo tubo difusor 406. En la realización ilustrada, un impulsor o hélice 408 ubicado en el tubo difusor 406 es impulsado por un motor adecuado (no mostrado) para hacer que el fluido fluya hacia abajo a través del tubo difusor 406. La operación o hélice 408 puede controlarse mediante un controlador y/o un deflector o válvula variable puede proporcionarse en el tubo difusor 406 para proporcionar control sobre la velocidad a la cual el fluido es reciclado en el tubo difusor 406. El flujo reciclado se dirige a la base del reactor 400. En la base del reactor 400 se proporciona un distribuidor de flujo sustancialmente cónico o curvado 410 para redirigir el flujo de reciclado hacia el perímetro del reactor y hacia arriba. El distribuidor de flujo 410 es circularmente simétrico (tiene la forma de un sólido de revolución) en algunas realizaciones. En la realización ilustrada, la base 411 del reactor 400 es sustancialmente plana y se apoya a nivel sobre una cimentación típica (por ejemplo, de hormigón), reduciendo o eliminando significativamente la necesidad de miembros de apoyo estructural y reduciendo la altura total del reactor 400 en comparación con otros recipientes de igual volumen o capacidad.

**[0072]** En esta realización, se pueden introducir aguas residuales y/o reactivos de alimentación a través de tuberías horizontales, verticales o angulares, toberas o un colector situado para descargar los fluidos cerca de la base del tubo difusor (ya sea dentro o debajo de la descarga del tubo difusor). El (los) paso(s) de flujo pueden disponerse para alimentar el agua y los reactivos para mezclarlos con el flujo de reciclado antes de entrar en el lecho de los precipitados de producto en una sección de recolección 414 en la parte más baja del reactor.

65

**[0073]** La realización ilustrada incluye un conducto de entrada de agua residual 404 que introduce el agua residual entrante cerca de la parte inferior del tubo difusor 406. También se muestra un mecanismo de medición 407 que está configurado para introducir reactivos (por ejemplo, fuentes de Mg como  $Mg(OH)_2$ ,  $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$  y similares, fuentes de amoníaco como el gas amoníaco, el amoníaco anhidro, el hidróxido de amonio, el sulfato de amonio, el fosfato monoamónico, el fosfato diamónico, el polifosfato amónico y similares y/o fuentes de fosfato como el fosfato trisódico, el ácido fosfórico, el fosfato monoamónico, el polifosfato amónico, el fosfato diamónico y similares) en el agua residual entrante y/o en el tubo difusor 406. Dicho mecanismo de medición puede ser proporcionado en cualquiera de las reivindicaciones descritas en el presente documento.

10 **[0074]** Un reactor de lecho fluidizado equipado con un tubo difusor puede utilizarse para controlar la supersaturación de la reacción controlando el flujo de reciclado a través del tubo difusor en relación con la velocidad a la que las aguas residuales y/o los reactivos se introducen en el reactor. Las partículas de estruvita más grandes, un análogo de estruvita u otro compuesto que contiene fósforo que se forman en el reactor 400 se recogen de la zona de recolección 414. En la realización ilustrada, las partículas más grandes se recogen en un tramo de elutriación 412.

15 **[0075]** Los aparatos descritos en el presente documento pueden construirse y/o utilizarse junto con procedimientos operativos diseñados para reducir la probabilidad de formación de sarro en las superficies del aparato. Las soluciones saturadas de  $CO_2$  tienden a aumentar el pH debido a la desgasificación del  $CO_2$  en zonas de baja presión o alta turbulencia. Los aumentos del pH pueden provocar reacciones de cristalización (como la formación de estruvita), lo que provoca la formación de sarro en el equipo. En algunas realizaciones, las superficies de las áreas susceptibles a la formación de sarro están revestidas con revestimientos resistentes al sarro, como Teflon™, Kynar™ (PVDF), Hylar™ o vidrio. Las zonas de baja presión tienden a aparecer en los colectores de distribución de flujo en el lado de succión de los elementos de bombeo. El flujo turbulento o las cascadas del contenido del reactor también tienden a provocar la eliminación de  $CO_2$  en áreas tales como diques de rebose, tuberías de desagüe por gravedad y similares. En algunas realizaciones, la formación de sarro en algunas áreas se controla añadiendo agua de dilución para reducir la concentración de reactivos por debajo de la saturación a un pH elevado, y/o añadiendo una sustancia ácida para reducir el pH, y/o añadiendo  $CO_2$  a la solución.

#### Interpretación de los términos

30 **[0076]** A menos que el contexto requiera claramente lo contrario, a lo largo de la descripción y las reivindicaciones:

- 35 • «comprenden», «que comprenden» y similares deben interpretarse en un sentido inclusivo, en contraposición a un sentido exclusivo o exhaustivo; es decir, en el sentido de «incluido, pero no limitado a»;
- «conectado», «acoplado» o cualquier variante de los mismos se refiere a cualquier conexión o acoplamiento, directo o indirecto, entre dos o más elementos; el acoplamiento o conexión entre los elementos puede ser físico, lógico o una combinación de los mismos;
- 40 • «en el presente documento», «anterior», «a continuación» y palabras de importancia similar, cuando se utilicen para describir esta memoria descriptiva, se referirán a esta memoria descriptiva en su totalidad y no a ninguna parte particular de esta memoria descriptiva;
- «o» en referencia a una lista de dos o más artículos, abarca todas las siguientes interpretaciones de la palabra: cualquiera de los artículos de la lista, todos los artículos de la lista y cualquier combinación de los artículos de la lista;
- 45 • las formas singulares «un», «una» y «el», «la» también incluyen el significado de cualquier forma plural apropiada.

**[0077]** Las palabras que indican direcciones como «vertical», «transversal», «horizontal», «hacia arriba», «hacia abajo», «hacia adelante», «hacia atrás», «hacia adentro», «hacia afuera», «vertical», «transversal», «izquierda», «derecha», «frontal», «posterior», «superior», «inferior», «abajo», «arriba» «debajo» y similares, que se utilizan en esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas (cuando existan), dependen de la orientación específica del aparato descrito e ilustrado. El tema descrito en el presente documento puede asumir varias orientaciones alternativas.

55 **[0078]** Cuando un componente (por ejemplo, un tanque, mecanismo, bomba, conducto, conjunto, dispositivo, etc.) se mencione como anterior, a menos que se indique lo contrario, con referencia a ese componente (incluida una referencia a un «medio») deberá interpretarse en el sentido de que incluye como equivalentes de ese componente a cualquier componente que desempeñe la función del componente descrito (es decir, que sea funcionalmente equivalente).

60 **[0079]** Ejemplos específicos de sistemas, procedimientos y aparatos han sido descritos en el presente documento con fines ilustrativos. Estos son solo ejemplos.

**[0080]** Aunque se han descrito anteriormente numerosas reivindicaciones y realizaciones ejemplares, los expertos en la materia reconocerán ciertas modificaciones, cambios, adiciones y subcombinaciones de las mismas. El

alcance de las reivindicaciones no debería estar limitado por las realizaciones preferidas expuestas en los ejemplos, sino que debería interpretarse de la manera más amplia posible según la descripción en su conjunto.

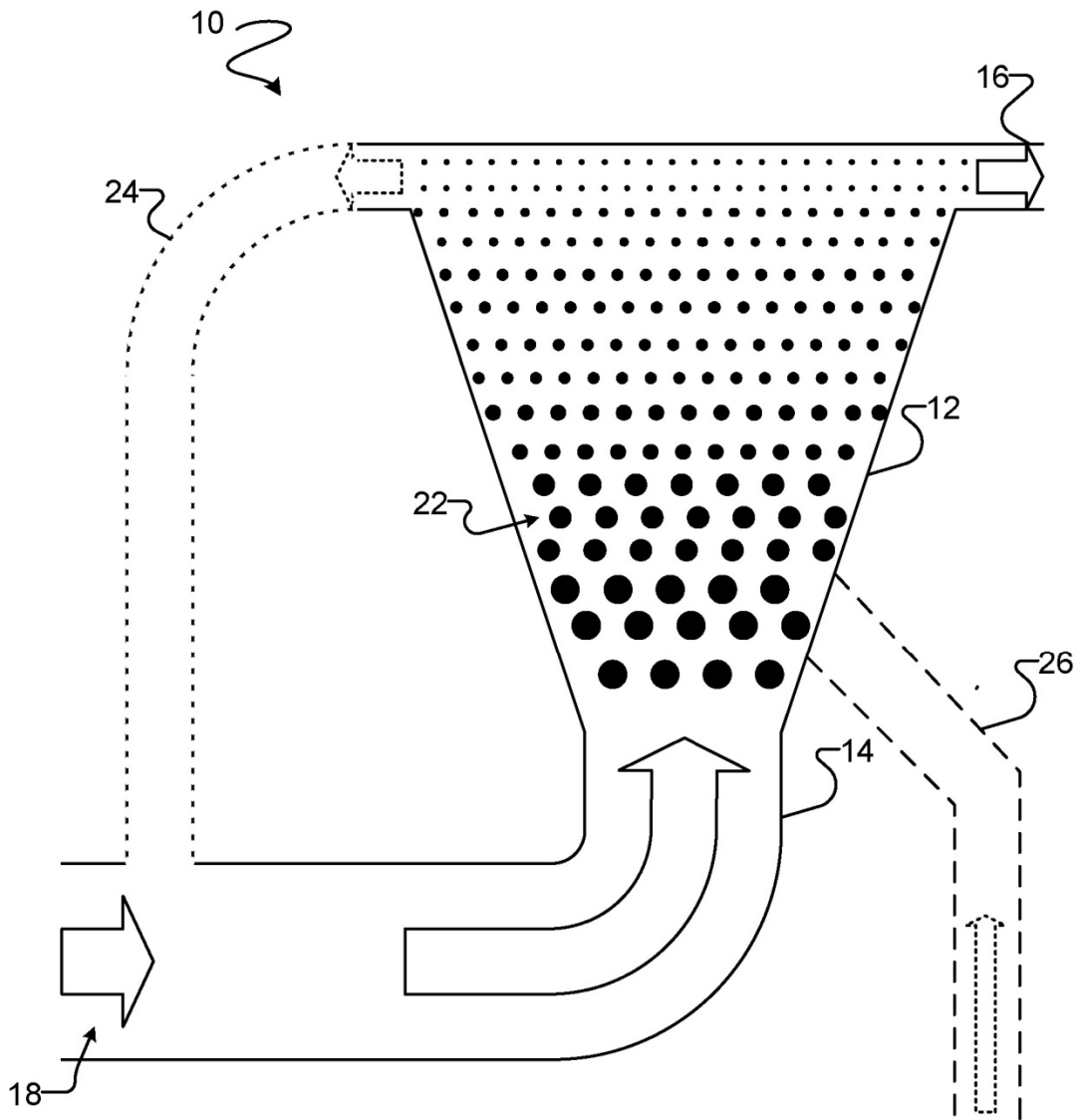
**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de tratamiento de aguas residuales que comprende:
  - 5 un tanque de reactor que se estrecha de una primera sección transversal a una segunda sección transversal más pequeña que la primera sección transversal, estando la primera sección transversal por encima de la segunda sección transversal; una entrada para que las aguas residuales entren en el tanque de reactor por debajo o cerca de la parte inferior de la segunda sección transversal;
  - 10 una vía de reciclado dispuesta para recoger las aguas residuales de una toma aguas abajo de la primera sección transversal y devolver al menos una parte de las aguas residuales eliminadas al tanque de reactor aguas arriba de la toma de la vía de reciclado y aguas arriba de la entrada; un distribuidor de flujo en el tanque del reactor, comprendiendo el distribuidor de flujo una disposición de puertos dispuestos para extraer las aguas residuales de una pluralidad de ubicaciones distribuidas a través de una sección transversal del tanque del reactor, y estando configurado el distribuidor de flujo para recoger las aguas residuales del
  - 15 tanque del reactor y transportarlas a la toma de la vía de reciclado; una salida para que el agua salga del tanque de reactor aguas abajo de la toma de la vía de reciclado; y una sección de recolección en el tanque de reacción, en el que se recolectan los precipitados de estruvita; en la que la entrada está ubicada en la base de la sección de recolección.
  - 20
2. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, en el que el distribuidor de flujo está configurado para hacer que el agua residual extraída por la toma sea extraída de manera sustancialmente uniforme desde una sección transversal del tanque de reactor.
- 25 3. El sistema de tratamiento de aguas residuales de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que el tanque del reactor se estrecha gradualmente para definir al menos una primera sección que incluye la primera sección transversal y una segunda sección que incluye la segunda sección transversal, y en el que el distribuidor de flujo se ubica en la parte inferior de la primera sección o en la parte superior de la segunda sección o a ambos lados de un límite entre la primera y la segunda sección.
- 30 4. El sistema de tratamiento de aguas residuales de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la vía de reciclado comprende un tubo difusor dispuesto dentro del tanque del reactor.
5. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 4, en el que la entrada se dispone
- 35 para introducir las aguas residuales en el tubo difusor.
6. El sistema de tratamiento de aguas residuales de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende un mecanismo de medición conectado para mezclar un reactivo con las aguas residuales entrantes, en el que el reactivo comprende una fuente de uno o más de: iones de magnesio e iones de amonio.
- 40 7. El uso del sistema de tratamiento de aguas residuales de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 para precipitar estruvita de aguas residuales que contienen fosfato disuelto.
8. Un procedimiento para tratar aguas residuales en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la
- 45 reivindicación 1, comprendiendo el procedimiento:
  - hacer fluir aguas residuales desde la entrada del tanque del reactor hacia arriba a través del tanque del reactor;
  - reducir la velocidad de las aguas residuales que fluyen aguas abajo de la entrada;
  - eliminar las aguas residuales de velocidad reducida aguas arriba de la salida del tanque del reactor a la vía de reciclado, arrastrando las aguas residuales de velocidad reducida al distribuidor de flujo en el tanque del reactor, el
  - 50 distribuidor de flujo configurado para transportar las aguas residuales de velocidad reducida a la vía de reciclado, en la que un caudal de las aguas residuales en la vía de reciclado es al menos tres veces un caudal de las aguas residuales alimentadas en la entrada del tanque del reactor;
  - volver a introducir las aguas residuales eliminadas en el tanque del reactor aguas arriba de en el que las aguas
  - 55 residuales eliminadas se eliminan y aguas arriba de la entrada; y eliminar los precipitados de estruvita de la sección de recolección del tanque del reactor, en el que la entrada se ubica en la base de la sección de recolección.
9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que reducir la velocidad de las aguas residuales que fluyen
- 60 aguas abajo de la entrada comprende el flujo de las aguas residuales a través de un conducto de sección transversal creciente.
10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9, en el que las aguas residuales contienen fósforo disuelto, preferentemente en forma de fosfato.
- 65

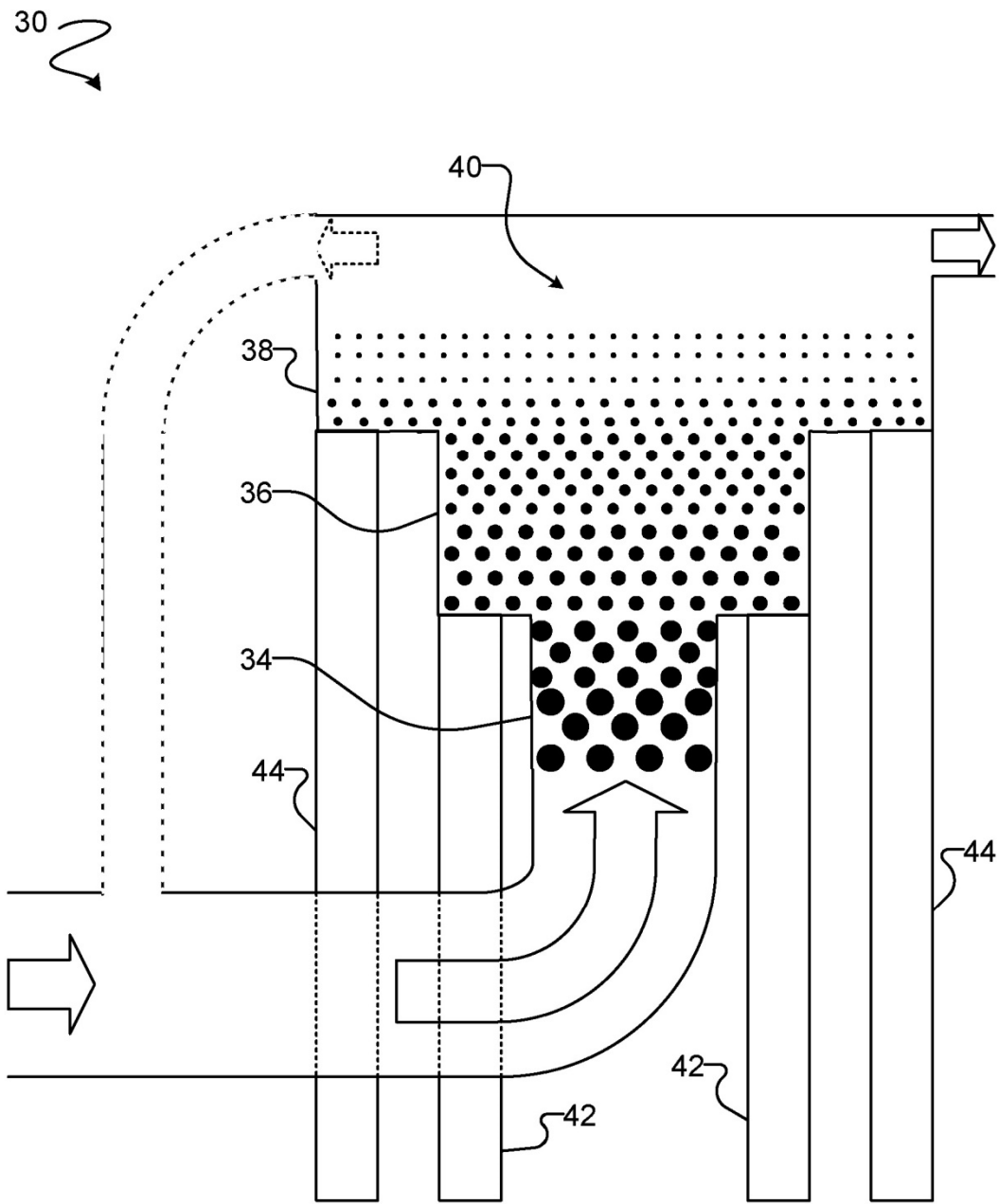
## ES 2 741 301 T3

11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que eliminar aguas residuales aguas arriba de una salida del tanque del reactor comprende extraer aguas residuales a un tubo difusor.
12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que la entrada se ubica dentro del tubo difusor y el procedimiento comprende permitir que las aguas residuales se mezclen con el fluido en el tubo difusor antes de que fluyan las aguas residuales hacia arriba a través del tanque del reactor.
13. El procedimiento de la reivindicación 12, que comprende mezclar las aguas residuales entrantes con un reactivo que comprende una o más de una fuente de Mg y una fuente de amonio.

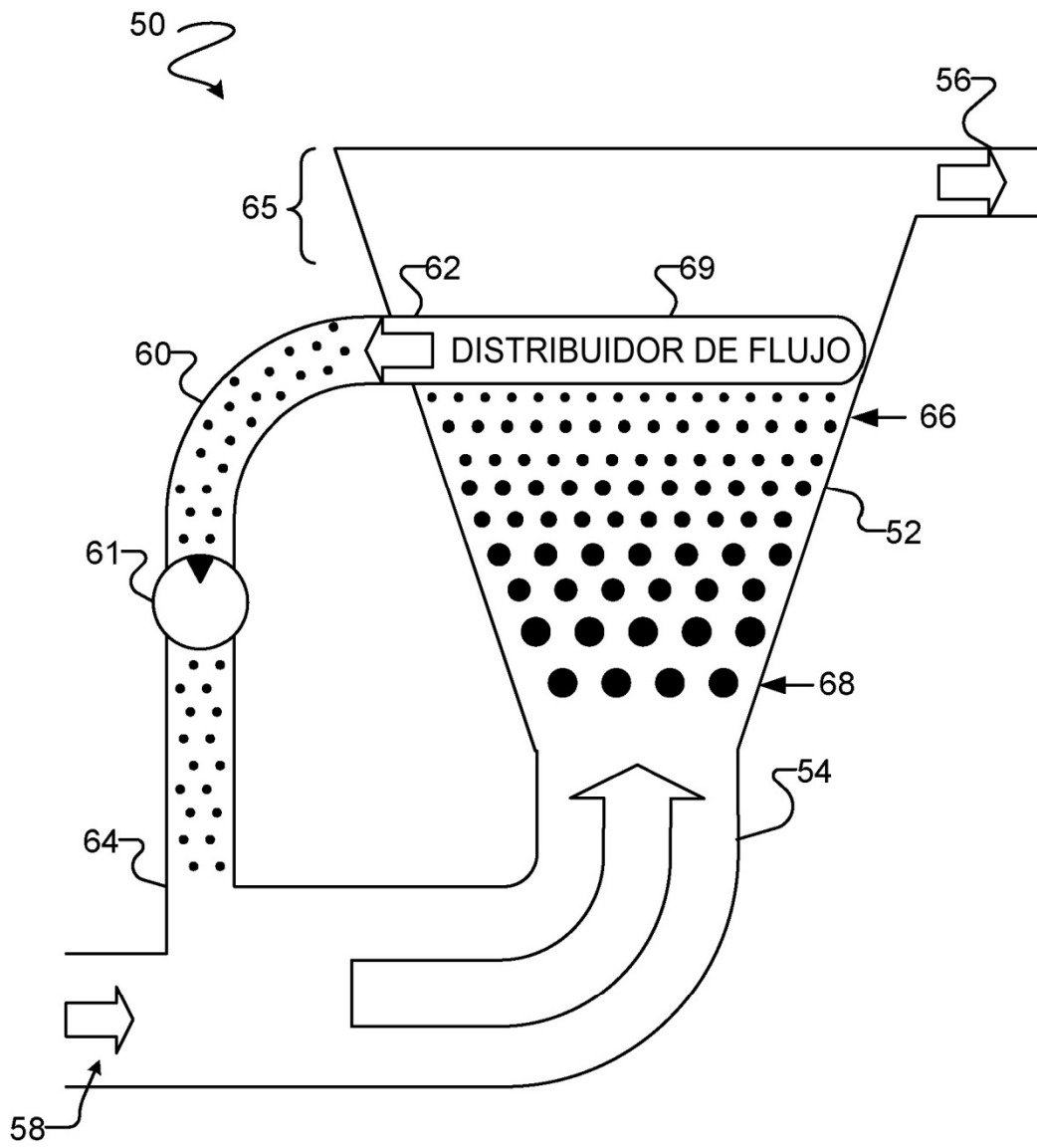




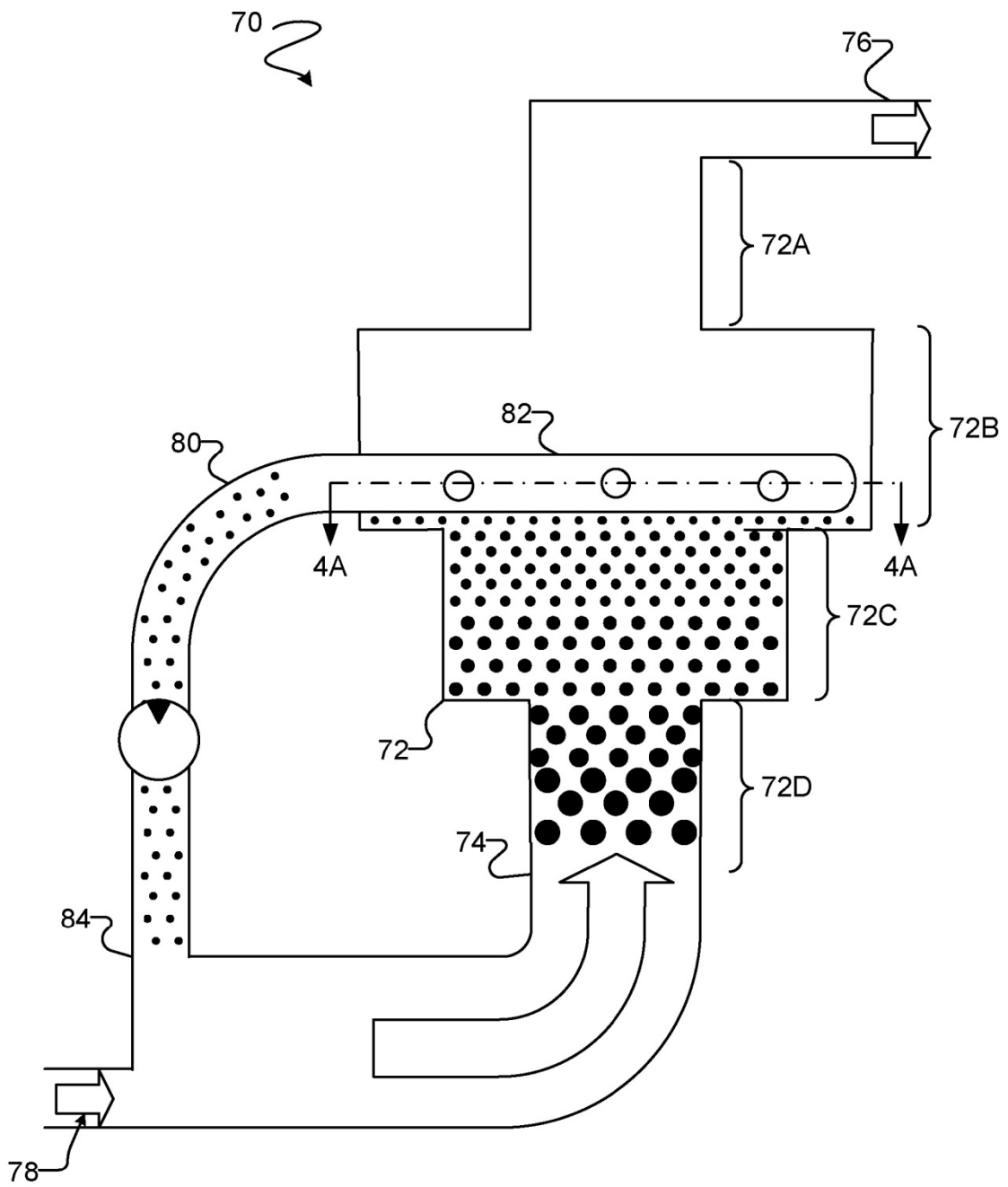
**FIGURA 1**



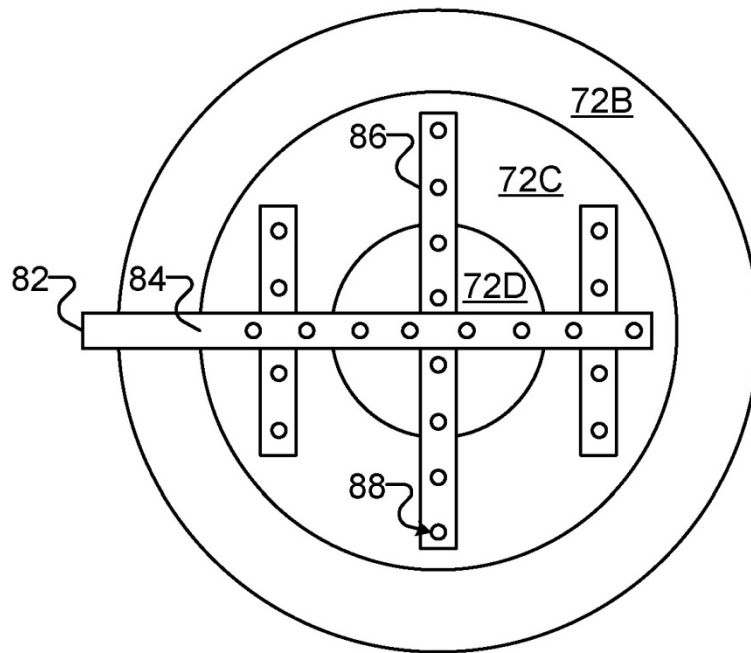
**FIGURA 2**



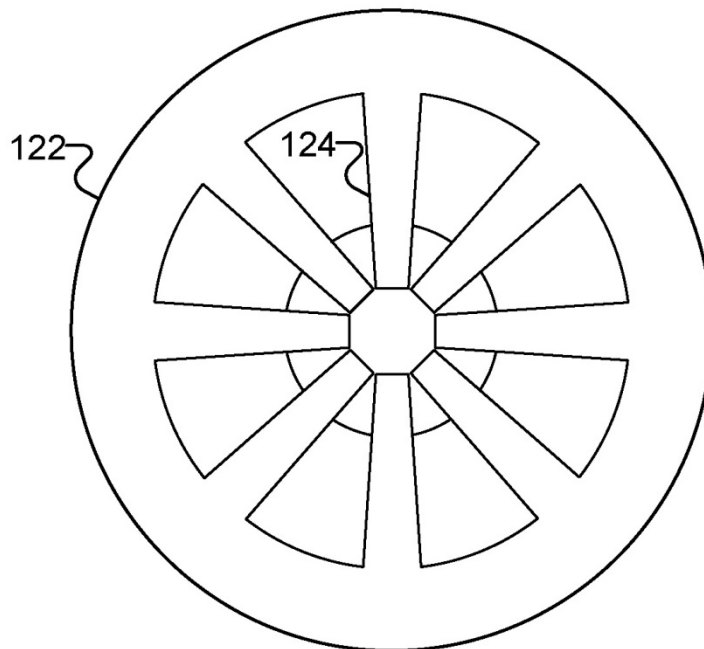
**FIGURA 3**



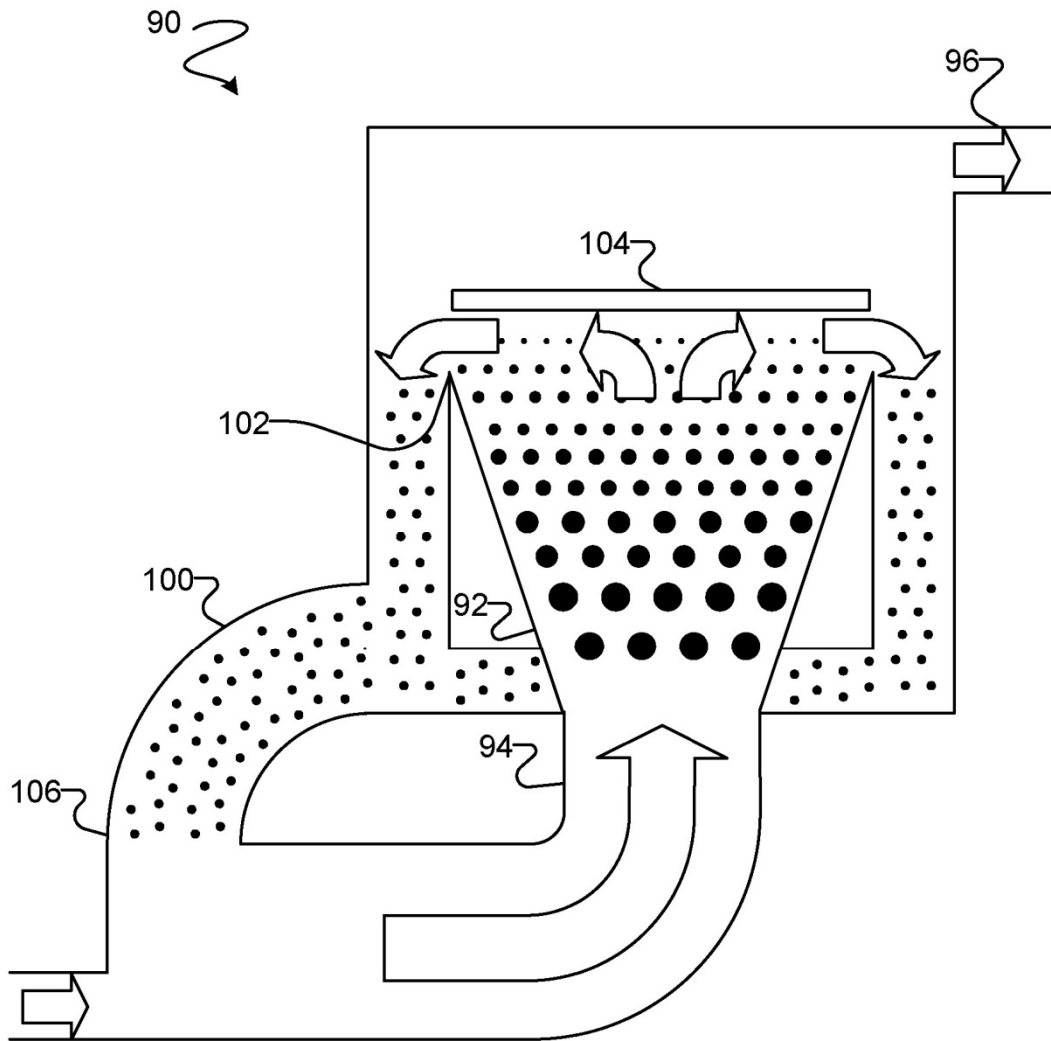
**FIGURA 4**



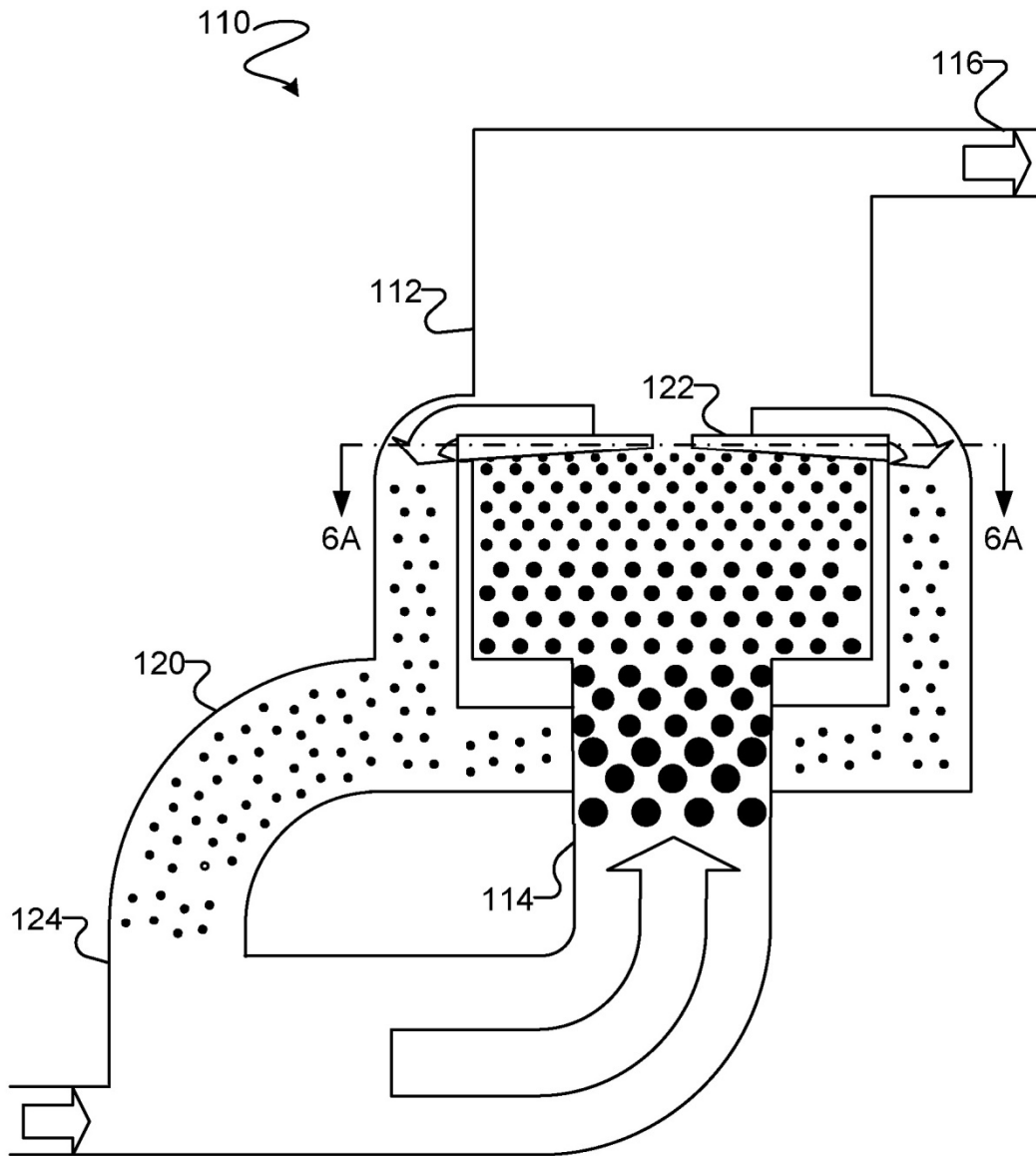
**FIGURA 4A**



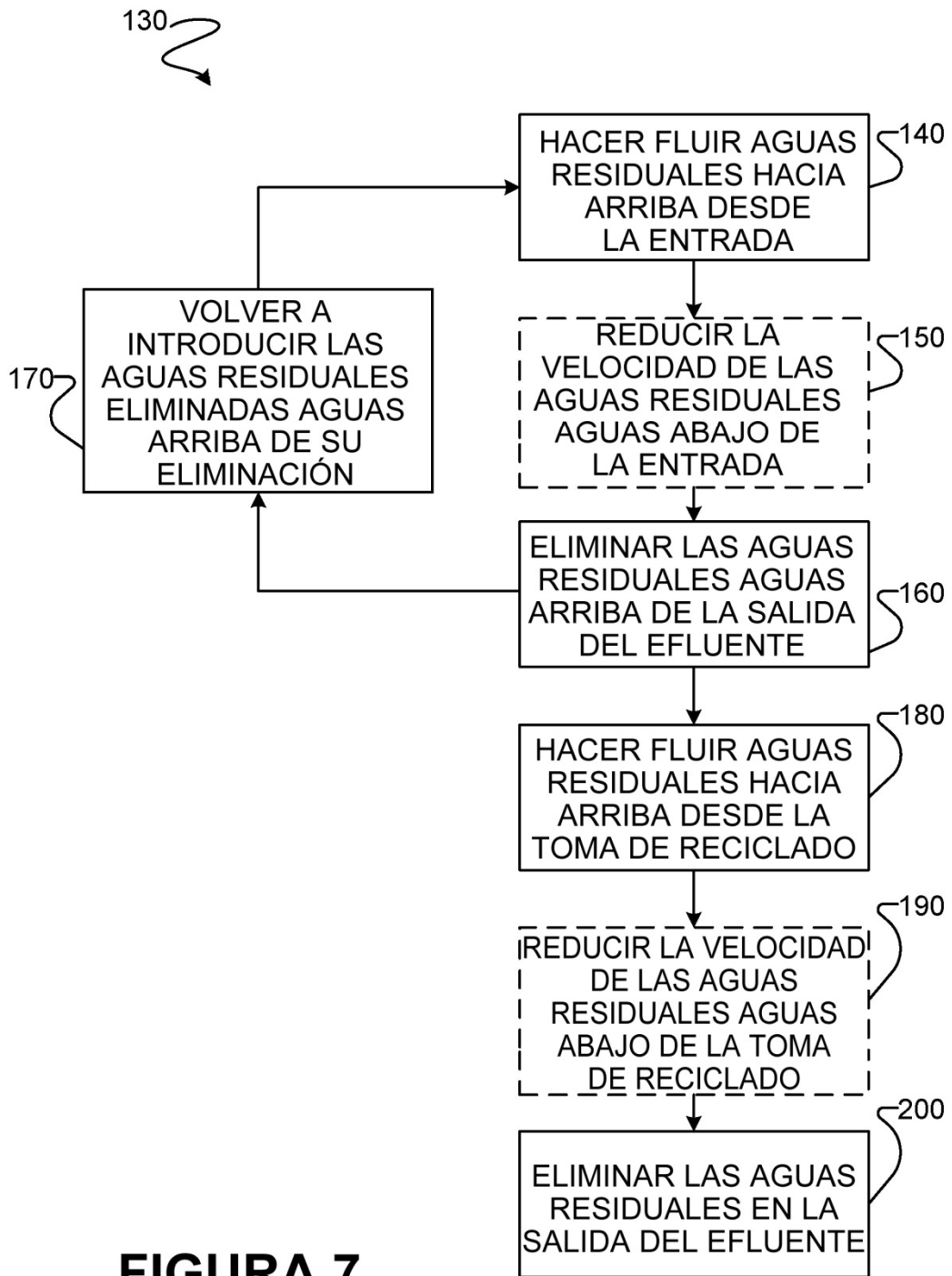
**FIGURA 6A**



**FIGURA 5**

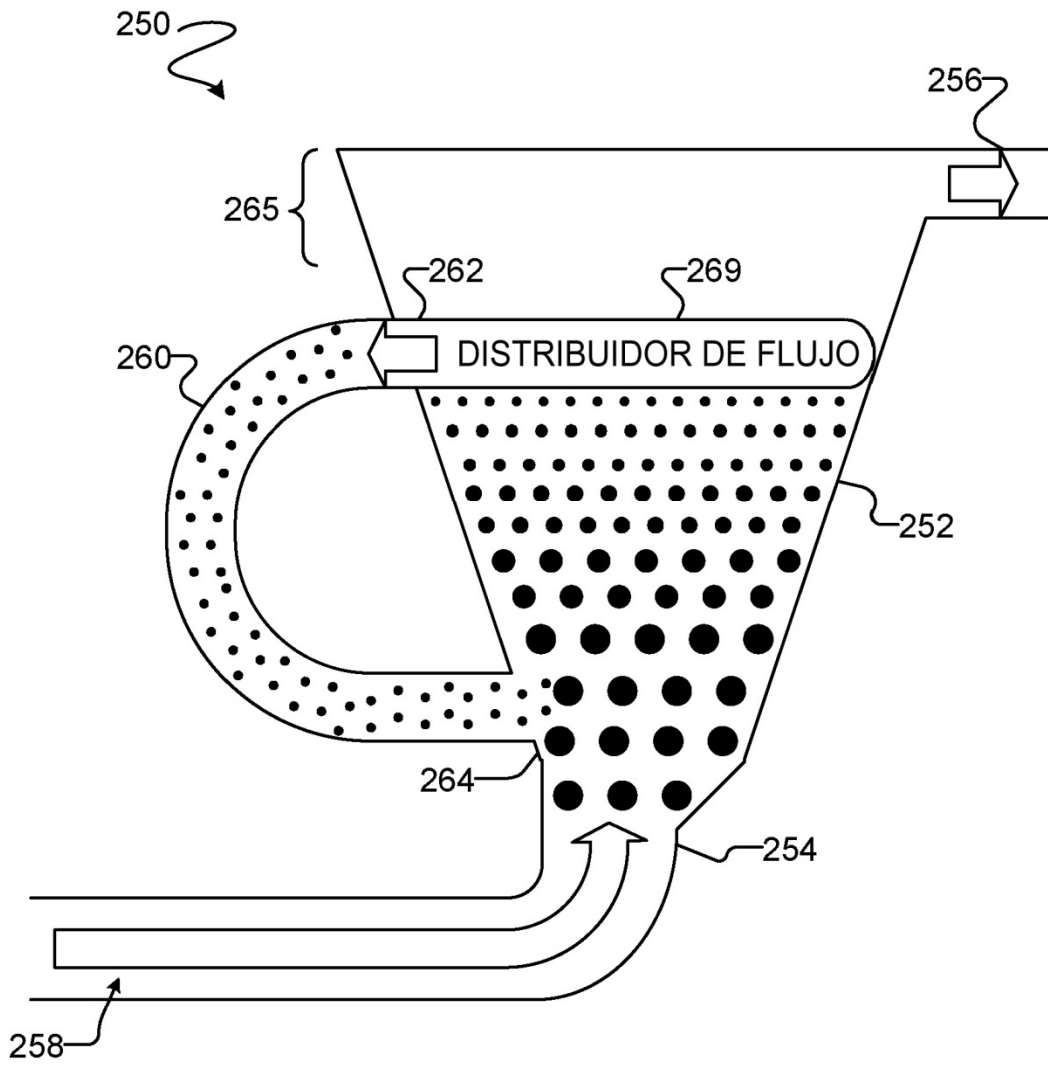


**FIGURA 6**

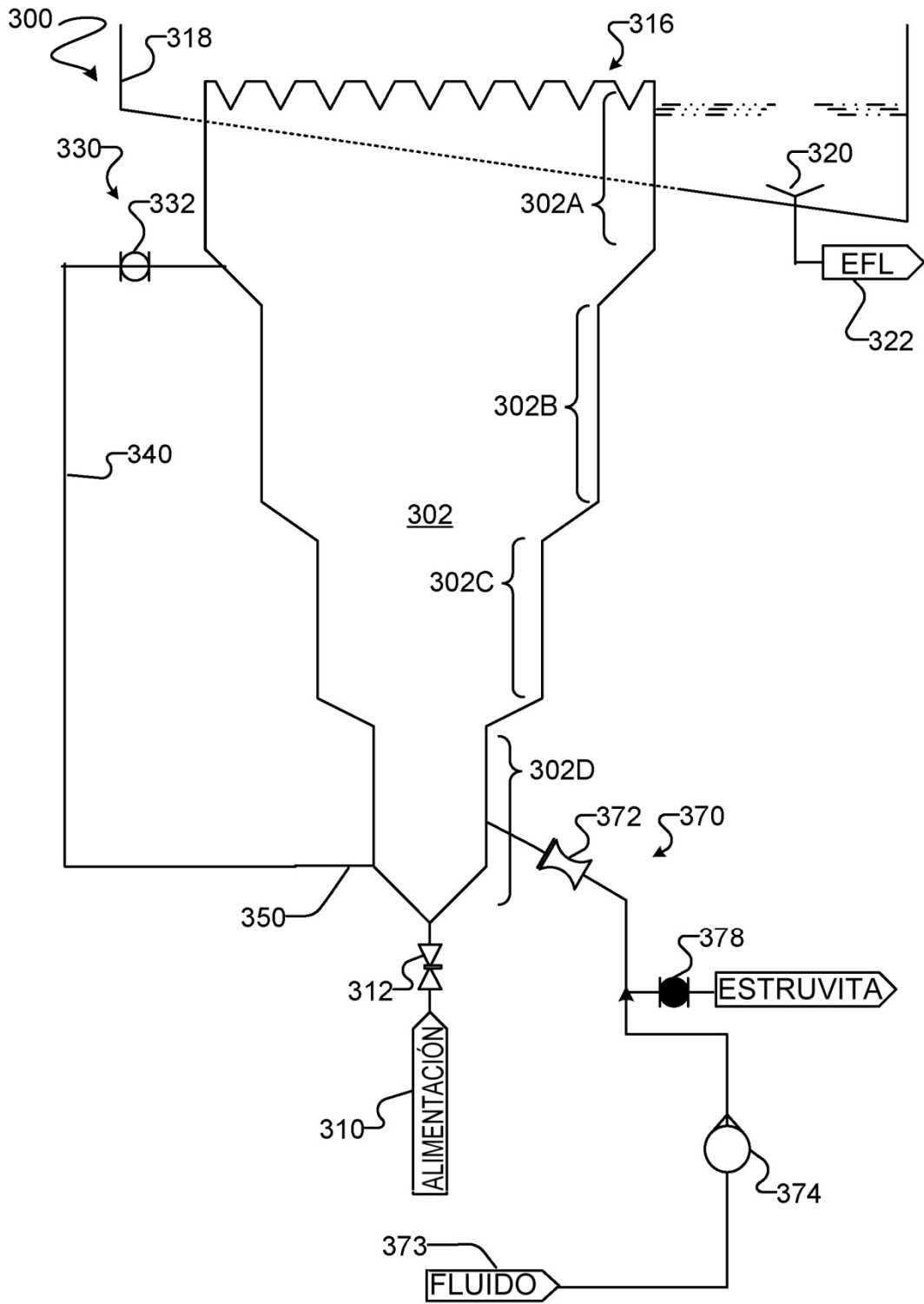


**FIGURA 7**

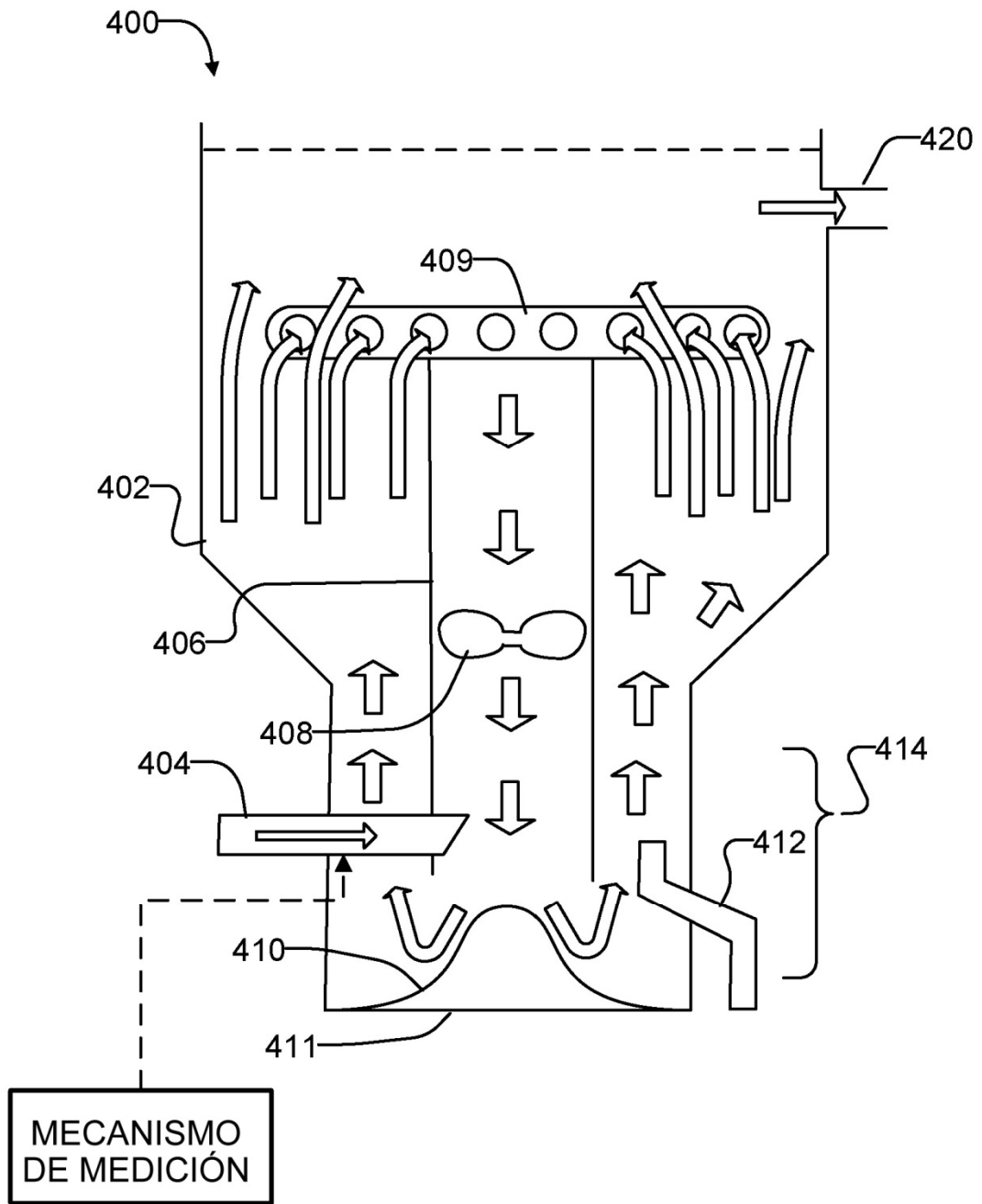




**FIGURA 8**



**FIGURA 9**



**FIGURA 10**