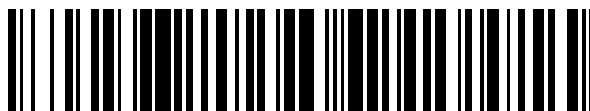


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 650 623**

51 Int. Cl.:

C02F 1/463	(2006.01)
C02F 1/467	(2006.01)
C02F 1/56	(2006.01)
C02F 1/72	(2006.01)
C02F 1/00	(2006.01)
C02F 1/461	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.02.2009 PCT/CA2009/000219**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.09.2010 WO10096891**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2009 E 09840611 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2017 EP 2414292**

54 Título: **Aparato y método de tratamiento de aguas residuales**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.01.2018

73 Titular/es:
**BOYDEL WASTEWATER TECHNOLOGIES INC.
(100.0%)
9382 Smiley Road
Chemainus, BC V0R 1K0, CA**

72 Inventor/es:
**BOYLE , RANDALL , J . y
DELUCA, RANDALL , C .**

74 Agente/Representante:
ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 650 623 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

Aparato y método de tratamiento de aguas residuales

5 Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere al tratamiento de aguas residuales, y en particular, a un aparato y un método para tratar agua contaminada en una celda electrolítica.

10 Antecedentes de la invención

El agua puede estar contaminada por materia orgánica e inorgánica de diversas fuentes que incluyen fuentes domésticas, municipales, industriales y agrícolas. Los contaminantes pueden estar en solución, en coloides o en suspensión. Los coloides, y en particular los coloides cargados negativamente, son a menudo la forma predominante en la que existen los contaminantes del agua.

La electrocoagulación es un método electroquímico para tratar agua contaminada con diversas especies en un reactor de electrocoagulación que tiene un cátodo y un ánodo de sacrificio. El suministro de corriente a los electrodos provoca la liberación de cationes metálicos (generalmente hierro o aluminio) desde el ánodo de sacrificio y la formación de gas de hidrógeno en el cátodo. Pueden formarse otras especies químicas que participan en una variedad de procesos que facilitan la eliminación de los contaminantes del agua.

El uso de electrodos rotatorios se ha propuesto como una forma de mejorar la eficacia de saneamiento de los sistemas que usan electrocoagulación. Véase, por ejemplo, el documento de Syversen et al., US 6, 099,703. Rotar el cátodo ayuda a garantizar el consumo uniforme del ánodo de sacrificio e inhibir el ensuciamiento de la superficie activa del cátodo. Sin embargo, a pesar de los desarrollos en la técnica de la electrocoagulación, la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en electrocoagulación no son capaces de un saneamiento suficiente de las aguas contaminadas para su posterior liberación al medio ambiente a un coste asequible o en los volúmenes necesarios para la plena comercialización de los proyectos de tratamiento a gran escala. La presente invención proporciona un aparato y un método mejorados para el tratamiento masivo de agua contaminada.

Sumario de la invención

La invención proporciona un reactor de electrocoagulación que tiene un recipiente de reacción con una entrada para el flujo de entrada del agua, una salida para el flujo de salida del agua, un ánodo de sacrificio, un cátodo rotatorio y un ánodo no de sacrificio. Un primer hueco entre el ánodo de sacrificio y el cátodo comprende una primera zona de tratamiento que está corriente abajo de la entrada. El ánodo de sacrificio y el cátodo están adaptados para aplicar una primera tensión a través del primer hueco. Un segundo hueco entre el ánodo no de sacrificio y el cátodo proporciona una segunda zona de tratamiento corriente abajo de la primera zona de tratamiento. El ánodo no de sacrificio y el cátodo están adaptados para aplicar una segunda tensión a través del segundo hueco. La segunda tensión puede ser menor que la primera tensión. La trayectoria de flujo del agua a través del recipiente de reacción es desde la entrada a la primera zona de tratamiento, a continuación a la segunda zona de tratamiento y a continuación a la salida.

La invención proporciona además un cátodo rotatorio para un reactor de electrocoagulación. El cátodo tiene una cara activa, en general, perpendicular al eje de rotación del cátodo. La cara activa tiene un centro y una periferia y unas características de superficie que definen una pluralidad de trayectorias de flujo de agua desde el centro hacia la periferia. Las características de superficie pueden comprender canales o espárragos. El cátodo rotatorio puede emplearse en reactores de electrocoagulación que tienen una sola zona de tratamiento y, por consiguiente, la invención proporciona un reactor de electrocoagulación que tiene un ánodo de sacrificio, un cátodo rotatorio y un hueco entre el ánodo de sacrificio y el cátodo que comprende una primera zona de tratamiento, teniendo el cátodo unas características de superficie que definen una pluralidad de trayectorias de flujo de agua a través del hueco.

La invención proporciona además un clarificador para recibir el efluente de un reactor de electrocoagulación. El clarificador tiene una pared lateral cilíndrica, una pared superior, una pared inferior cónica, un primer puerto de salida en la pared superior conectado a un primer conducto de salida y un segundo puerto de salida en la pared inferior conectado a un segundo conducto de salida. El clarificador tiene un conducto de entrada que se extiende dentro del clarificador que tiene una abertura dentro del clarificador que es más grande en el área de sección transversal que el área de sección transversal interna del conducto de entrada.

La invención proporciona además un método para tratar el agua contaminada usando un reactor de electrocoagulación. Se proporciona un reactor que tiene una entrada de agua, una salida de agua, un hueco entre un ánodo de sacrificio y un cátodo rotatorio que comprende una primera zona de tratamiento y un hueco entre el cátodo rotatorio y un ánodo no de sacrificio que comprende una segunda zona de tratamiento. Se aplica una primera tensión de electrólisis a través de la primera zona de tratamiento y se aplica una segunda tensión de electrólisis a través de la segunda zona de tratamiento. Se hace que el agua fluya hacia el reactor desde la entrada, a través de la

primera zona de tratamiento, a continuación a través de la segunda zona de tratamiento, y a continuación a través de la salida.

5 Estas y otras características de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción y de los dibujos de las realizaciones preferidas.

Breve descripción de los dibujos

10 La figura 1 es una vista esquemática de un sistema de tratamiento de acuerdo con la invención.
 La figura 2 es una vista en alzado, parcialmente en sección, de una realización del reactor de tratamiento del sistema.
 La figura 3 es una vista en alzado, parcialmente en sección, de una segunda realización del reactor de tratamiento.
 15 La figura 4 es una vista en alzado, parcialmente en sección, de una tercera realización del reactor de tratamiento.
 La figura 5 es una vista en alzado, parcialmente en sección, de una cuarta realización del reactor de tratamiento.
 La figura 6 es una vista en alzado, parcialmente en sección, del clarificador del sistema de tratamiento.
 Las figuras 7A, 7B, 7C y 7D son vistas en planta de la superficie activa del cátodo del reactor, que muestran unos ejemplos de las características en la cara inferior del cátodo.

20 Descripción de las realizaciones preferidas

Unas realizaciones a modo de ejemplo de la invención se describen a continuación y se ilustran en las figuras referenciadas en los dibujos. Estas realizaciones deben considerarse como ilustrativas en lugar de restrictivas. En la siguiente descripción y dibujos, se hace referencia a las partes correspondientes y similares por los mismos caracteres de referencia.

30 El sistema de tratamiento 20 se ilustra esquemáticamente en la figura 1. El agua contaminada fluye desde una fuente 22 a través de un conducto 24 a un reactor de electrocoagulación 26, teniendo el reactor una celda electrolítica como se describe a continuación. El efluente del reactor fluye a través de un conducto de salida 28 en un clarificador 30. Un electrolito, por ejemplo cloruro de sodio de un tanque 36, y peróxido de hidrógeno de un tanque 38, se añaden al agua contaminada en el conducto 24. El floculante de un tanque 40 se agrega al efluente del reactor en el conducto 28. En el clarificador 30, el efluente del reactor 26 se separa en lodo, que sale del clarificador a través de un conducto de salida 32, y en agua limpia, que sale del clarificador a través de otro conducto de salida 34. Las bombas 42, 44, 46 se proporcionan en los conductos 24, 32 y 34, respectivamente.

35 El agua contaminada que comprende el material de alimentación del sistema de tratamiento 20 está contaminada con contaminantes orgánicos, contaminantes inorgánicos o ambos. Las aguas residuales pueden incluir alcantarillas municipales, aguas pluviales, lixiviados de granjas, lixiviados de minas, aguas residuales industriales, institucionales y comerciales. El agua contaminada normalmente se habrá sometido a un procesamiento previo, tal como el cribado para eliminar los contaminantes de partículas grandes. Por ejemplo, en el caso de las aguas residuales municipales, el agua contaminada se habrá sometido a un tratamiento primario, tal como el cribado, la sedimentación y la eliminación de tierra y arena, antes de introducirla en el sistema de tratamiento 20.

45 El reactor 26, mostrado en la figura 2, tiene una carcasa 48 que es, en general, cilíndrica, con una pared lateral circunferencial 50 y una pared inferior plana 52, y con una pared superior cónica 54. La carcasa 48 está soportada sobre una base 56. La carcasa está fabricada de un material eléctricamente no conductor, por ejemplo, fibra de vidrio. La pared inferior 52 del reactor tiene un puerto de entrada 58 para la entrada de flujo del agua contaminada desde el conducto de entrada 24. La pared superior 54 tiene un puerto de salida 60 para el flujo de salida del efluente del reactor 26. El conducto de salida 28 se extiende en la carcasa 48 a través del puerto de salida 60, y tiene una abertura 62 en su extremo interior.

50 El reactor 26 tiene un ánodo de sacrificio 64, un ánodo no de sacrificio 66 y un cátodo rotatorio 68. El ánodo de sacrificio 64 y el cátodo rotatorio están separados por un hueco 70. El ánodo de sacrificio 64 está unido a la pared inferior 52 del reactor y no rota. Tiene un orificio vertical 72 en su centro, alineado con la abertura de entrada 58. El ánodo de sacrificio 64 comprende un metal de alta valencia tal como hierro o aluminio.

55 El ánodo no de sacrificio 66 tiene forma cilíndrica y está unido al interior de la pared lateral 50 de la carcasa 48. Se fija en su posición y no rota. Comprende un metal de baja valencia adecuado, por ejemplo, acero inoxidable o titanio, o cerámica, y puede revestirse con un revestimiento que aumenta su área de superficie activa, por ejemplo TiO_2 . El TiO_2 tiene una alta durabilidad química y resistencia a la oxidación y es específicamente adecuado. El ánodo no de sacrificio 66 está separado del cátodo 68 por un hueco 74. También está separado del ánodo de sacrificio 64; este espacio facilita la extracción y el reemplazo periódico del ánodo de sacrificio y también permite que los dos ánodos tengan diferentes potenciales eléctricos.

65 El cátodo 68 es una estructura cilíndrica sellada que tiene una pared lateral circunferencial 76, una pared inferior 78 y una pared superior 80. El cátodo está fabricado de un metal de baja valencia adecuado, por ejemplo, acero

inoxidable o titanio, o cerámica. La superficie activa del cátodo, es decir, la superficie exterior 79 de la pared inferior 78 y la superficie exterior de la pared lateral 76, pueden estar revestidas con TiO_2 . Este revestimiento promueve la formación de peróxido de hidrógeno a partir del hidrógeno y del oxígeno generados durante la electrólisis en el reactor.

5 La superficie exterior 79 de la pared inferior 78 del cátodo puede estar provista de unas ranuras 82 que actúan como canales para aumentar el caudal de agua que se mueve radialmente hacia fuera en el hueco 70. Las ranuras también dirigen radialmente hacia fuera las burbujas de gas formadas en la reacción de electrólisis, junto con los contaminantes adsorbidos por las burbujas. Como se muestra en las figuras 7A, B y C, las ranuras pueden tener
10 diversas formas, incluyendo canales rectos, canales ahusados y espirales.

15 La figura 7A muestra unos canales 82 que se extienden desde el centro 83 a la periferia 85 de la superficie exterior de la pared inferior 78 del cátodo 68 en forma de espiral. Los canales están separados por valles 87. Como alternativa, los canales 82 pueden extenderse directamente desde el medio del cátodo a su periferia sin curvatura, y pueden ahusarse, como se ilustra en la figura 7B, o pueden no ahusarse como se ilustra en la figura 7C. Pueden proporcionarse diferentes números de canales, por ejemplo, desde tres canales a siete canales. Pueden tener aproximadamente media pulgada (13 mm) de profundidad. La profundidad, la forma y el número de canales pueden seleccionarse con el fin de optimizar el caudal y la separación entre electrodos para una aplicación específica.

20 Pueden proporcionarse características de superficie distintas de los canales en la cara del cátodo para producir características de flujo específicas. La figura 7D muestra una cara de cátodo que tiene una pluralidad de espárragos elevados 89. Los espárragos crean trayectos de flujo 91 irregulares entre los mismos para el agua que se mueve en el hueco desde el centro a la periferia de la cara de electrodo. Los espárragos pueden ser, por ejemplo, aproximadamente de una pulgada (25 mm) de diámetro y 3/16 pulgadas (4,8 mm) de altura, y de acero inoxidable.

25 Se comprenderá que la característica de los canales o espárragos en la cara de un cátodo rotatorio tiene utilidad en los reactores de electrocoagulación distintos de los reactores descritos en el presente documento, incluidos en los reactores de electrocoagulación de la técnica anterior del tipo que tiene un cátodo rotatorio separado de un ánodo de sacrificio.

30 El cátodo 68 está montado para la rotación en un árbol 84, que está conectado a un motor u otro medio de accionamiento adecuado (no mostrado). La rotación del cátodo reduce la pasivación de la superficie de cátodo activa. Un conjunto 95 de casquillo y sello rodea el árbol 84 donde el árbol pasa a través de la pared superior 54 de la carcasa 48. El árbol 84 está acoplado además a unos medios de accionamiento adecuados (no mostrados) para el ajuste vertical de la posición del cátodo. Esta capacidad de ajuste de la posición del cátodo permite el ajuste de la distancia a través del hueco 70 durante el funcionamiento del reactor con el fin de optimizar las condiciones para la electrólisis del material de alimentación. Por ejemplo, los cambios en la turbidez del material de alimentación pueden requerir el ajuste del hueco de separación. El ajuste vertical puede controlarse manualmente o mediante sensores, por ejemplo, unos sensores que monitoricen la corriente eléctrica a través del hueco 70.

40 En un reactor de electrocoagulación a escala industrial, el cátodo 68 puede tener un diámetro de aproximadamente 4 a 6 pies (1,2 a 1,8 m), un espesor de pared inferior de 3/4 de pulgada (19 mm) y un espesor de pared lateral de 1/4 de pulgada (6,4 mm). La distancia a través del hueco 70 puede estar en el intervalo de 1/8 a 1/2 de pulgada (3,2 a 13 mm) y a través del hueco 74 en el intervalo de 1/8 a 3/8 de pulgada (3,2 a 9,5 mm). La velocidad de rotación del
45 cátodo puede estar en el intervalo de 20 a 170 rpm y el caudal del agua residual a través del reactor en el intervalo de 25 a 200 galones imperiales (114 a 909 L) por minuto. Unos reactores de electrocoagulación mucho más grandes, que tienen un mayor rendimiento, también pueden fabricarse de acuerdo con la invención.

50 La alimentación eléctrica suministrada al cátodo 68, al ánodo de sacrificio 64 y al ánodo no de sacrificio 66 puede ser CC, CC pulsada o CA de alta frecuencia. Las fuentes de alimentación (no mostradas) están conectadas a la base del ánodo de sacrificio 64 en un terminal 65, al ánodo no de sacrificio 66 en un terminal 69 y al árbol 84 del cátodo en un terminal 67, siendo el árbol eléctricamente conductor. El ánodo no de sacrificio 66 se mantiene normalmente a un potencial más bajo que el ánodo de sacrificio 64 y tiene su propia fuente de alimentación, aunque para algunos materiales de alimentación puede mantenerse con el mismo potencial o un potencial mayor. La
55 selección del tipo de alimentación eléctrica usada depende del material de alimentación y la naturaleza de los contaminantes. Por ejemplo, si el material de alimentación tiene un alto nivel de contaminantes orgánicos, la selección preferida puede ser CC al ánodo de sacrificio y CA de alta frecuencia al ánodo no de sacrificio; o si el material de alimentación es uno que requiere un nivel más bajo de iones de hierro en solución, la selección puede ser CC pulsada para el ánodo de sacrificio y CA de alta frecuencia para el ánodo no de sacrificio. Las tensiones/corrientes típicas son de aproximadamente 6,5 V a 900 A y 7,5 V a 3000 A.

60 Antes del tratamiento en el reactor 26, puede añadirse un electrolito, tal como cloruro de sodio, al agua contaminada para aumentar su conductividad. Además, puede agregarse opcionalmente peróxido de hidrógeno al material de alimentación. En general, el peróxido de hidrógeno es útil cuando los contaminantes son orgánicos, y puede usarse
65 un nivel más alto de peróxido de hidrógeno para niveles más altos de contaminantes orgánicos. El pH del agua contaminada también puede ajustarse antes del reactor si se requiere, prefiriéndose un intervalo de pH de

aproximadamente 3,5 a 7.

5 En el reactor 26, el agua contaminada fluye a través del puerto de entrada 58, a través del orificio 72 en el ánodo de sacrificio 64 y radialmente hacia fuera en el hueco 70 entre la superficie activa 86 del ánodo 64 y la superficie inferior del cátodo rotatorio 68. En este espacio, que es la primera zona de reacción del reactor 26, los cationes de hierro entran en la solución a medida que se consume la superficie activa del ánodo de sacrificio, se producen reacciones químicas y se electrocoagulan los contaminantes. Desde la primera zona de reacción, el agua contaminada fluye hacia el hueco 74 entre el ánodo no de sacrificio 66 y la pared lateral 76 del cátodo. En este hueco, que es la segunda zona de reacción del reactor 26, se cree que se produce una oxidación adicional de los contaminantes por medio de diversas reacciones que incluyen reacciones de Fenton, iones ferrosos (Fe^{2+}) y peróxido de hidrógeno estando ambos presentes, resultando en la formación de oxidantes radicales de hidroxilo.

10 El agua contaminada fluye desde la segunda zona de reacción hacia el hueco 88 entre la pared superior 80 del cátodo y la pared superior 54 de la carcasa. A continuación, fluye hacia la abertura 62 del conducto de descarga 28, saliendo del reactor.

15 Después del tratamiento del agua contaminada en el reactor, efectuando la coagulación de los sólidos y la oxidación de los contaminantes, incluyendo los contaminantes bacterianos, se trata el efluente para separar los sólidos coagulados del agua. Pueden usarse diversos tipos de procesos posteriores para lograr esta separación, por ejemplo, un sistema de flotación por aire disuelto o un tanque de separación con una espumadera para eliminar los sólidos. En la realización preferida de la invención, el efluente del reactor 26 se alimenta a un clarificador 30, mostrado en la figura 6.

20 Un floculante procedente de un tanque 40 se alimenta al efluente en el conducto 28 antes de que el efluente se alimente al clarificador. El tipo y la concentración del floculante empleado depende del material de alimentación de agua residual específico.

25 En el interior del clarificador 30, el conducto 28 tiene una abertura de salida 90 que está orientada hacia arriba y tiene un diámetro mayor que el diámetro del interior del conducto 28. Esto ralentiza el caudal del efluente en el clarificador por unidad de área de la apertura 90 para reducir la turbulencia.

30 El clarificador 30 tiene un cuerpo de tanque, en general, cilíndrico con una pared superior cónica 92 y una pared inferior cónica 93. El volumen del clarificador es suficiente, en relación con la velocidad del flujo de entrada del efluente de reactor, para que el tiempo de retención en el clarificador sea adecuado para lograr la separación de los sólidos del agua. Por ejemplo, el tiempo de retención puede ser de aproximadamente 5 a 8 minutos. La pared superior 92 forma un ángulo en su punto de unión con la pared lateral cilíndrica 94 que es aproximadamente 60° (con respecto a la horizontal). El clarificador está soportado sobre unas patas 96. Hay un puerto de salida 98 en el extremo inferior del clarificador, conectado al conducto de salida de efluente 34. El conducto está provisto de una bomba de efluente 46. Hay un puerto de salida 100 en el extremo superior del clarificador, conectado al conducto de salida de lodo 32. El conducto 32 está provisto de una bomba de lodo 44. Se proporcionan un par de sensores de nivel separados verticalmente 102 en la pared superior 92 del clarificador, para detectar el nivel del agua y del lodo. La bomba de efluente 46 regula el nivel de agua a través de la entrada de estos sensores.

35 Las bombas 44, 46 funcionan con el fin de crear un vacío parcial dentro del clarificador, por ejemplo, una presión en el intervalo de 5 a 25 kPa. Por medio del conducto 28 que conecta el reactor 26 con el clarificador 30, este vacío parcial también se aplica al sistema de reactor completo. Se cree que el proceso de tratamiento en el sistema de reactor se mejora mediante dicho vacío parcial.

40 El vacío parcial dentro del clarificador mejora la separación de los sólidos floculados, que ascienden a la parte superior del clarificador, y el agua, que desciende al fondo del clarificador. Los sólidos comprenden un lodo que sale de la parte superior del tanque a través de la salida 100 y se bombea por la bomba de lodo 44 a través del conducto de salida 32. El agua limpia, separada del lodo, sale de la parte inferior del tanque a través de la salida 98 y se bombea por la bomba de efluente 46 a través del conducto de salida 34. El agua limpia puede liberarse al medio ambiente o someterse a un tratamiento adicional, por ejemplo, a un ajuste de pH, antes de la liberación. Una parte del agua limpia que sale por el conducto de salida 34 puede recircularse a través de un conducto de recirculación (no mostrado) al conducto de entrada de reactor 24 para un tratamiento adicional en el sistema 20.

45 En un modo de funcionamiento alternativo del clarificador 30, se alimenta un coagulante, en lugar de un floculante, al efluente de reactor en el conducto 28 antes de que el efluente se alimente al clarificador. El coagulante hace que los sólidos separados se hundan hasta la parte inferior del clarificador en lugar de flotar hacia la parte superior (como ocurre con un floculante). Este modo de funcionamiento puede usarse cuando se tratan materiales de alimentación que tienen contaminantes con flotabilidad negativa natural, por ejemplo, metales pesados. El conducto de salida superior 32 elimina en consecuencia el agua limpia del clarificador y el conducto de salida inferior 34 elimina el lodo. Las bombas 44 y 46 se conmutan de tal manera que el conducto de salida superior 32 tiene una bomba de efluente y el conducto de salida inferior 34 tiene una bomba de lodo; y los sensores de nivel 102 se mueven a la pared inferior 93. La abertura 90 del conducto 28 puede dirigirse hacia abajo.

Se comprenderá que el clarificador 30 (dispuesto para funcionar en cualquiera de los dos modos de operación) puede estar conectado para recibir el efluente de otros tipos de reactor de electrocoagulación, por ejemplo, los reactores de la técnica anterior.

5 El sistema de tratamiento puede operarse por medio de un ordenador de lógica programable (PLC), con unos dispositivos apropiados para medir y controlar los flujos de fluido en todo el aparato, la corriente eléctrica a través de los huecos entre los electrodos, la conductividad y el pH del material de alimentación, las velocidades de las bombas, los niveles de fluidos en el clarificador, etc. El proceso debe ejecutarse con el fin de producir agua de efluente limpia que cumpla con los requisitos para una aplicación específica.

10 En otra realización 126 del reactor, ilustrada en la figura 3, el ánodo no de sacrificio se coloca horizontalmente por encima del cátodo y puede moverse verticalmente con el mismo a medida que el cátodo se mueve para ajustar el hueco entre el mismo y el ánodo de sacrificio. El reactor 126 es por lo demás sustancialmente el mismo que el reactor 26. Más específicamente, el reactor 126 tiene un cátodo rotatorio 168 que comprende una placa plana, y un ánodo no de sacrificio 164 que comprende una placa plana, separada de la superficie superior 180 del cátodo 168 por un hueco 174. El ánodo no de sacrificio 164 no rota y está soportado por unos miembros de soporte 104 fijados a un conjunto de collar y cojinete 106. El conjunto de collar y cojinete 106 permite la rotación del árbol de cátodo en relación con el ánodo no de sacrificio 164, que mantiene una posición vertical fija en el árbol 84, de tal manera que el ánodo no de sacrificio 164 (y el conjunto de collar y cojinete 106) se mueve verticalmente con el cátodo. El conjunto de collar y cojinete 106 está aislado eléctricamente del árbol de cátodo 84. Un sello 108 se extiende en la periferia del ánodo no de sacrificio y en la pared lateral 50 de la carcasa del reactor, evitando el flujo de agua entre las mismas. La superficie activa 86 del ánodo de sacrificio 64 está separada del lado inferior del cátodo por un hueco 70, comprendiendo este hueco la primera zona de tratamiento del reactor 126, comprendiendo el hueco 174 la segunda zona de tratamiento. Las zonas de tratamiento funcionan de la manera descrita anteriormente para las dos zonas de tratamiento del reactor 26 de la primera realización. Como se indica por las flechas direccionales en la figura 3, el agua residual entra al reactor a través del puerto de entrada 58, fluye a través del orificio 72 en el ánodo de sacrificio 64 y dentro del primer hueco 70. A continuación, fluye radialmente hacia fuera en el hueco 70, alrededor del borde circunferencial 176 del cátodo y dentro del segundo hueco 174. A continuación, fluye a través de la abertura central 114 en el ánodo no de sacrificio 164, dentro del hueco entre la pared superior 54 de la carcasa 48 y el ánodo no de sacrificio 164, y a continuación a través del conducto de efluente 28.

Una tercera realización 127 del reactor, ilustrada en la figura 4, es esencialmente la misma que el reactor 126 de la figura 3, excepto por la colocación del conjunto de collar y cojinete, que está fuera del reactor, y los miembros de soporte que conectan el ánodo no de sacrificio 164 al conjunto de collar y cojinete. En el reactor 127, el conjunto de collar y rodamiento 106 está en el árbol 84 del cátodo 168 fuera y encima de la carcasa de reactor 48. El conjunto 106 tiene un par de miembros de soporte horizontales 128, y un par de miembros de soporte verticales 130 que conectan el ánodo no de sacrificio 164 a un miembro de soporte horizontal respectivo. Los miembros de soporte verticales 130 pasan a través de los puertos en la pared superior 54 de la carcasa de reactor, y un sello de agua 132 se ajusta alrededor del miembro de soporte 130 en cada puerto.

40 En una cuarta realización 226 del reactor, mostrada en la figura 5, la entrada de agua residual es a través del cátodo rotatorio, en lugar de a través del ánodo de sacrificio. El reactor tiene un ánodo de sacrificio 264 sujeto a la pared inferior 52 de la carcasa de reactor 48, un cátodo rotatorio 268 separado de la superficie activa superior 286 del ánodo de sacrificio 264 por un hueco 70, y un ánodo no de sacrificio cilíndrico 66 unido al interior de la pared lateral 50 de la carcasa de reactor 48, estando el ánodo no de sacrificio separado del cátodo 268 por un hueco 74. El árbol de soporte 84 del cátodo tiene un orificio 110 en su interior y una unidad de cojinete y sellado 112, conectados a una tubería de entrada de aguas residuales 24, que permite el flujo de las aguas residuales en el orificio 110 y hacia fuera a través de la abertura 114 en la pared inferior 78 del cátodo y dentro del hueco 70. El flujo de las aguas residuales en esta realización del reactor es radialmente hacia fuera a través del hueco 70, que comprende la primera zona de tratamiento, a través del hueco 74, que comprende la segunda zona de tratamiento, y dentro del espacio entre la pared superior 54 de la carcasa 48 y la pared superior 80 del cátodo, y a continuación hacia fuera a través del conducto de efluente 28.

Una quinta realización del reactor, no ilustrada por separado en los dibujos, es la misma en estructura que el reactor 26 mostrado en la figura 2A, excepto que no incluye el ánodo no de sacrificio o la segunda zona de tratamiento (o el terminal eléctrico 69). La zona de tratamiento única está definida por el hueco 70 entre la superficie superior 86 del ánodo de sacrificio 64 y la superficie inferior 79 del cátodo rotatorio 68. La trayectoria del flujo de agua en el reactor es a través del orificio 72 en el ánodo de sacrificio 64 hasta el hueco 70, a continuación a través del hueco 70 y alrededor de la periferia del cátodo, dentro del espacio 88 por encima del cátodo y a continuación hacia fuera a través del conducto de efluente 28. La cara inferior 79 del cátodo 68 del reactor tiene unas características de superficie como se han descrito anteriormente y se muestran en la figura 7, concretamente, las ranuras 82 o los espárragos elevados 89 para producir unas características de flujo de agua específicas en el hueco 70.

Ejemplos

65 Se trataron unas muestras de aguas residuales en un aparato a escala de laboratorio de acuerdo con la invención.

ES 2 650 623 T3

Se hicieron varias mediciones de contaminantes/parámetros del material de alimentación y del efluente y, en algunos casos, del lodo. Los resultados se resumen a continuación.

Ejemplo 1

5 Se trató una muestra de aguas residuales municipales. La DBO carbonosa del material de alimentación fue de 169 mg/L y la del efluente fue de 20 mg/L. El total de sólidos suspendidos del efluente fue de 8 mg/l. El contenido de coliformes fecales del efluente fue menor que 1 colonia por cada 100 ml de límite de detección de la prueba.

10 Ejemplo 2

Se trató otra muestra de aguas residuales municipales. Los resultados de la prueba se establecen en la Tabla 1.

Tabla 1

Prueba	Material de alimentación	Efluente	Lodos
Fe (mg/L)	0,15	--	3
Sólidos Totales (mg/L)	180	16	--
BOD Total (mg/L)	270	40	--
Coliformes Fecales (colonias/100 ml)	3 millones	< 100	2,4 millones

15 La marca -- indica que el parámetro no se ha medido.

Ejemplo 3

20 Se trataron cinco muestras de 5 galones de agua de mina subterránea. Se realizaron mediciones del nivel de diversos elementos en el material de alimentación y en el efluente tratado y, para las muestras 4 y 5 en el lodo. Los resultados de la prueba se muestran en las Tablas 2 y 3. En algunos casos, el contenido de metal aumentó, por ejemplo, para hierro, manganeso y sodio. Esto se debe a las adiciones de esos elementos desde el ánodo de sacrificio o por dosificación química durante el proceso de tratamiento.

25

Tabla 2

Elemento	Muestra #1		Muestra #2		Muestra #3	
	Material de alimentación	Efluente	Material de alimentación	Efluente	Material de alimentación	Efluente
Aluminio	11	0,6	22	0,7	10	3
Bario	0,2	0,08	0,34	0,06	0,016	0,07
Boro	0,5	0,3	0,5	0,2	0,3	0,4
Calcio	1150	925	1300	928	916	667
Cobalto	1,5	0,6	2,1	0,5	1,3	0,4
Cobre	35,1	1,2	80,2	1,2	34,9	7,6
Fierro	114	26,3	279	26,5	91,4	138
Magnesio	74	57,3	88	56,6	63	40
Manganeso	2,45	3,81	2,96	3,32	2,13	2,97
Molibdeno	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4
Níquel	48,7	22,5	59,1	16,2	43,8	13,1
Potasio	86	74	95	74	72	46
Silicio	39	2,9	45	2,2	35	10
Sodio	475	549	509	402	392	318
Estroncio	17,7	14,6	19,1	14,6	14,4	9,78
Titanio	0,6	0,05	1,6	0,05	0,6	0,1
Zinc	1,8	0,38	2,8	0,25	0,5	0,7

Las medidas están en mg/L.

Tabla 3

Elemento	Muestra #4			Muestra #5		
	Material de alimentación	Efluente	Lodos	Material de alimentación	Efluente	Lodos
Aluminio	2,6	0,01	3910	0,5	< 0,01	358
Bario	0,16	0,045	18	0,16	0,147	36
Boro	< 0,1	0,028	< 10	0,1	0,114	18
Calcio	278	229	13000	1020	815	42100
Cromo	< 0,1	< 0,001	90	< 0,1	< 0,001	30
Cobalto	0,2	0,083	163	0,2	0,0224	236
Cobre	2,2	0,029	5730	< 0,2	0,0318	1030

ES 2 650 623 T3

Elemento	Muestra #4			Muestra #5		
	Material de alimentación	Efluente	Lodos	Material de alimentación	Efluente	Lodos
Fierro	0,4	1070	407000	0,4	10,4	384000
Plomo	< 0,3	< 0,0002	103	< 0,3	0,0005	71
Magnesio	35,9	21,4	1720	99,9	87,1	4780
Manganeso	1,14	1,28	2900	1,43	1,11	1360
Molibdeno	< 0,2	0,0008	< 20	< 0,2	0,0061	< 20
Níquel	8,8	2,95	6090	10,1	0,968	10200
Potasio	21	18,2	773	< 1,5	64,6	2550
Silicio	7,2	0,7	2260	70	0,9	387
Sodio	151	370	13700	484	421	17600
Estroncio	0,96	0,923	65	13,6	12,3	690
Titanio	< 0,5	< 0,02	14	< 0,05	< 0,02	14
Zinc	0,42	0,021	566	0,3	0,008	510

Las mediciones están en mg/L.

Lista de números de referencia en los dibujos

- 5 20: sistema de tratamiento
- 22: fuente de agua contaminada
- 24: conducto hacia el reactor
- 26: reactor
- 28: conducto hacia el clarificador
- 10 30: clarificador
- 32: conducto de salida de lodo
- 34: conducto de salida de efluente
- 36: tanque de sal
- 38: tanque de peróxido de hidrógeno
- 15 40: tanque de floculante
- 42: bomba de material de alimentación
- 44: bomba de lodos
- 46: bomba de efluente
- 48: carcasa del reactor
- 20 50: pared lateral de carcasa
- 52: pared inferior de carcasa
- 54: pared superior de carcasa
- 56: base de reactor
- 58: entrada de reactor
- 25 60: salida de reactor
- 62: abertura en conducto 28
- 64: ánodo de sacrificio
- 65: terminal en ánodo de sacrificio
- 66: ánodo no de sacrificio
- 30 67: terminal en cátodo
- 68: cátodo
- 69: terminal en ánodo no de sacrificio
- 70: primer hueco
- 72: orificio en ánodo de sacrificio
- 35 74: segundo hueco
- 76: pared lateral del cátodo
- 78: pared inferior del cátodo
- 79: superficie inferior del cátodo
- 80: pared superior del cátodo
- 40 82: ranuras en cátodo
- 83: centro del cátodo
- 84: eje del cátodo
- 85: periferia del cátodo
- 86: superficie activa del ánodo de sacrificio
- 45 87: valles de cara del cátodo
- 88: espacio encima del cátodo
- 89: espárragos en cara del cátodo
- 90: entrada en clarificador
- 91: trayectorias de flujo de agua
- 50 92: pared superior del clarificador
- 93: pared inferior del clarificador

- 94: pared lateral del clarificador
- 95: conjunto de casquillo y sello
- 96: patas del clarificador
- 98: salida para efluente
- 5 100: salida para lodo
- 102: sensores de nivel
- 104: miembros de soporte
- 106: conjunto de collar y cojinete aislado
- 108: sello en ánodo 164
- 10 110: orificio en eje del cátodo
- 112: unidad de cojinete y sello
- 114: abertura central en árbol 84 del cátodo
- 126: segunda realización del reactor
- 127: tercera realización del reactor
- 15 128: miembros de soporte horizontales
- 130: miembros de soporte verticales
- 132: sello en soportes verticales
- 164: ánodo no de sacrificio
- 168: cátodo
- 20 174: segundo hueco
- 176: periferia del cátodo
- 226: cuarta realización del reactor
- 264: ánodo de sacrificio
- 268: cátodo
- 25 286: superficie activa del ánodo de sacrificio

Aunque la invención se ha descrito en términos de diversas realizaciones, no se pretende que la invención esté limitada a estas realizaciones. Diversas modificaciones dentro del alcance de la invención serán evidentes para los expertos en la materia. El alcance de la invención se define por las siguientes reivindicaciones.

30

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para tratar agua contaminada que comprende:
 - 5 (a) un reactor de electrocoagulación que comprende:
 - (i) un recipiente de reacción que tiene una entrada para el flujo de entrada de agua y una salida para el flujo de salida de agua del recipiente de reacción;
 - 10 (ii) un ánodo de sacrificio;
 - (iii) un cátodo rotatorio;
 - (iv) un ánodo no de sacrificio;
 - (v) un primer hueco entre el ánodo de sacrificio y el cátodo, comprendiendo el primer hueco una primera zona de tratamiento corriente abajo de la entrada, estando el ánodo de sacrificio y el cátodo adaptados para aplicar una primera tensión a través del primer hueco;
 - 15 (vi) un segundo hueco entre el ánodo no de sacrificio y el cátodo, comprendiendo el segundo hueco una segunda zona de tratamiento corriente abajo de la primera zona de tratamiento, estando el ánodo no de sacrificio y el cátodo adaptados para aplicar una segunda tensión a través del segundo hueco, por lo que una trayectoria de flujo del agua a través del recipiente de reacción es desde la entrada a la primera zona de tratamiento, a continuación a la segunda zona de tratamiento y a continuación a la salida.
 - 20
2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el recipiente de reacción es cilíndrico con una pared lateral circunferencial, una pared inferior y una pared superior.
3. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la pared superior es cónica.
- 25 4. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, en el que la entrada es a través de la pared inferior del recipiente de reacción.
5. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el ánodo de sacrificio tiene un orificio a su través para el flujo del agua desde la entrada a la primera zona de tratamiento.
- 30 6. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el ánodo no de sacrificio es cilíndrico y adyacente a la pared lateral circunferencial.
- 35 7. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el cátodo puede hacerse rotar alrededor de un eje sustancialmente vertical.
8. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el cátodo es cilíndrico con una pared inferior, una pared superior y una pared lateral circunferencial.
- 40 9. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el primer hueco está entre la superficie superior del ánodo de sacrificio y la superficie inferior del cátodo.
10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el segundo hueco está entre la pared lateral circunferencial del cátodo y el ánodo no de sacrificio.
- 45 11. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la salida está en la pared superior del recipiente de reacción.
- 50 12. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el cátodo es un disco circular que tiene una superficie inferior, una superficie superior y una superficie periférica.
13. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el ánodo no de sacrificio es un disco que tiene una superficie superior y una superficie inferior, extendiéndose el ánodo no de sacrificio entre las paredes laterales circunferenciales del recipiente de reacción, y que tiene un orificio en el mismo para el flujo del agua.
- 55 14. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la segunda zona de reacción está entre la superficie superior del cátodo y la superficie inferior del ánodo no de sacrificio.
- 60 15. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en el que el cátodo puede moverse en una dirección paralela a su eje de rotación.
16. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o 13, en el que el ánodo no de sacrificio puede moverse en una dirección paralela al eje de rotación del cátodo.
- 65 17. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el cátodo tiene un árbol y el árbol está conectado de

manera rotatoria al ánodo no de sacrificio.

- 5 18. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el cátodo puede hacerse rotar en un árbol y el cátodo y el árbol tienen un orificio en los mismos para el flujo del agua en la primera zona de tratamiento.
19. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el ánodo de sacrificio es no rotacional.
- 10 20. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o 19, en el que el ánodo no de sacrificio es no rotacional.
21. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, que comprende además un medio de fuente de alimentación para aplicar la primera tensión y la segunda tensión.
- 15 22. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21, que incluye además un separador para recibir el efluente de la salida del reactor de electrocoagulación para separar los sólidos del agua limpia.
- 20 23. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 22, en el que la primera tensión es una mayor que, igual a, o menor que, la segunda tensión.
- 25 24. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 23, en el que el cátodo rotatorio tiene una cara activa, en general, perpendicular al eje de rotación del cátodo, teniendo la cara activa un centro y una periferia, teniendo la cara activa características de superficie que definen una pluralidad de trayectorias de flujo de agua desde el centro a la periferia.
26. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 24, en el que las características de superficie comprenden uno de entre canales y espárragos.
- 30 26. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 25, en el que los canales se ensanchan hacia fuera desde el centro de la cara a la periferia de la misma.
27. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 26, que comprende además una fuente de electrolitos para añadir electrolitos al agua a tratar.
- 35 28. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 27, que comprende además una fuente de peróxido de hidrógeno para añadir peróxido de hidrógeno al agua a tratar.
29. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 28, que comprende además una fuente de floculante para añadir floculante al agua que sale del recipiente de reacción.
- 40 30. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 29, que comprende además una fuente de coagulante para añadir coagulante al agua que sale del recipiente de reacción.
- 45 31. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 30, en el que el recipiente de reacción se cierra a la atmósfera.
32. Un método para tratar agua contaminada, que comprende las etapas de:
- 50 (a) proporcionar un reactor de electrocoagulación que tiene una entrada de agua, una salida de agua, un hueco entre un ánodo de sacrificio y un cátodo rotatorio que comprende una primera zona de tratamiento, y un hueco entre el cátodo rotatorio y un ánodo no de sacrificio que comprende una segunda zona de tratamiento;
- (b) aplicar una primera tensión de electrólisis a través de la primera zona de tratamiento y una segunda tensión de electrólisis a través de la segunda zona de tratamiento; y
- 55 (c) hacer fluir el agua desde la entrada, a través de, la primera zona de tratamiento, a continuación, a través de la segunda zona de tratamiento y, a continuación, a través de la salida.
33. Un método de acuerdo con la reivindicación 32, que comprende además añadir un electrolito al agua a tratar.
- 60 34. Un método de acuerdo con la reivindicación 32 o 33, que comprende además añadir peróxido de hidrógeno al agua a tratar.
35. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 32-34, que comprende además añadir floculante o coagulante al agua que sale de la salida del reactor.
- 65 36. Un método de acuerdo con la reivindicación 32, que comprende además ajustar la posición del cátodo para lograr una distancia deseada a través del primer hueco.

37. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 32-36, que comprende además hacer pasar el efluente desde el reactor de electrocoagulación a través de un separador y separar sólidos del agua limpia.

5 38. Un método de acuerdo con la reivindicación 37, en el que el separador es un clarificador conectado operativamente a una bomba de flujo de salida de sólidos y a una bomba de flujo de salida de agua.

39. Un método de acuerdo con la reivindicación 38, que comprende además operar la bomba de flujo de salida de sólidos y la bomba de flujo de salida de agua con el fin de crear un vacío parcial en el clarificador y en el tren de

10 tratamiento.

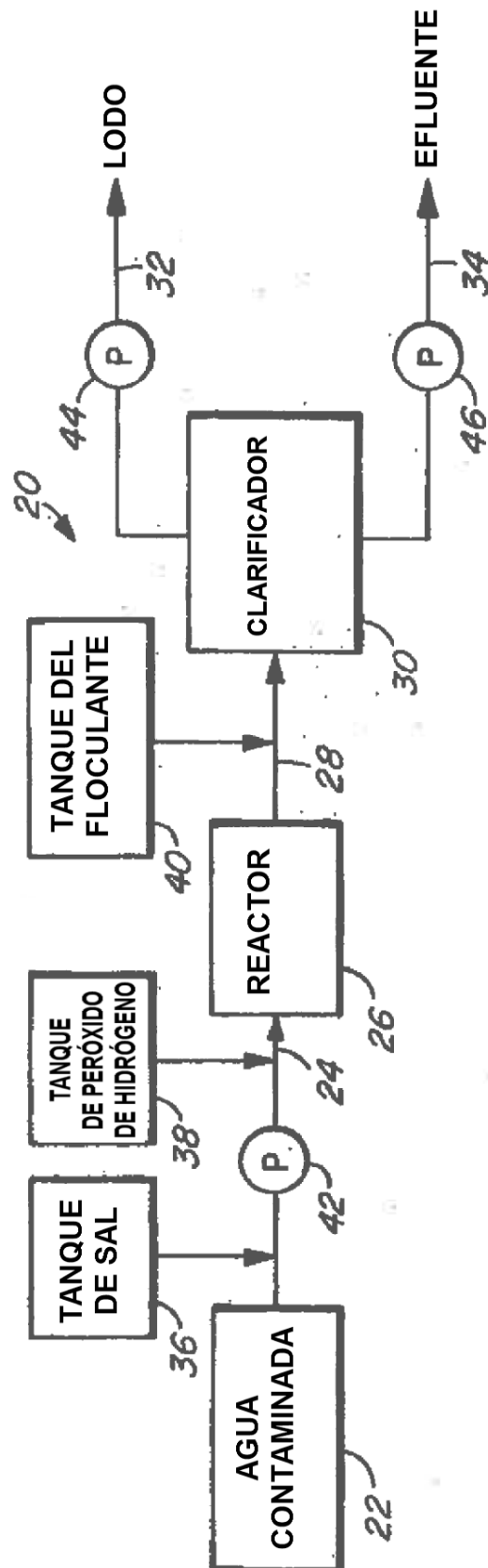


FIG. 1

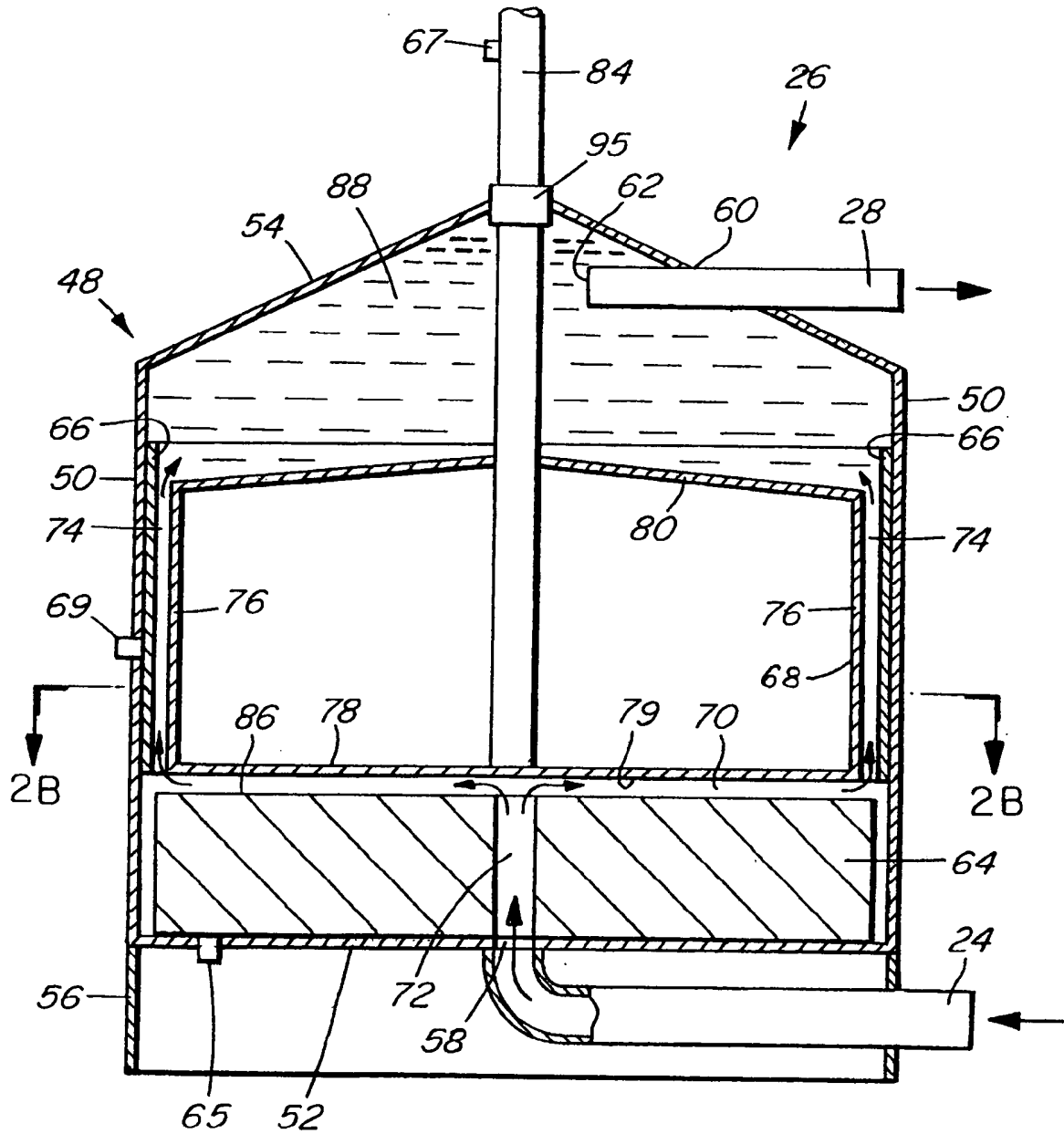


FIG. 2A

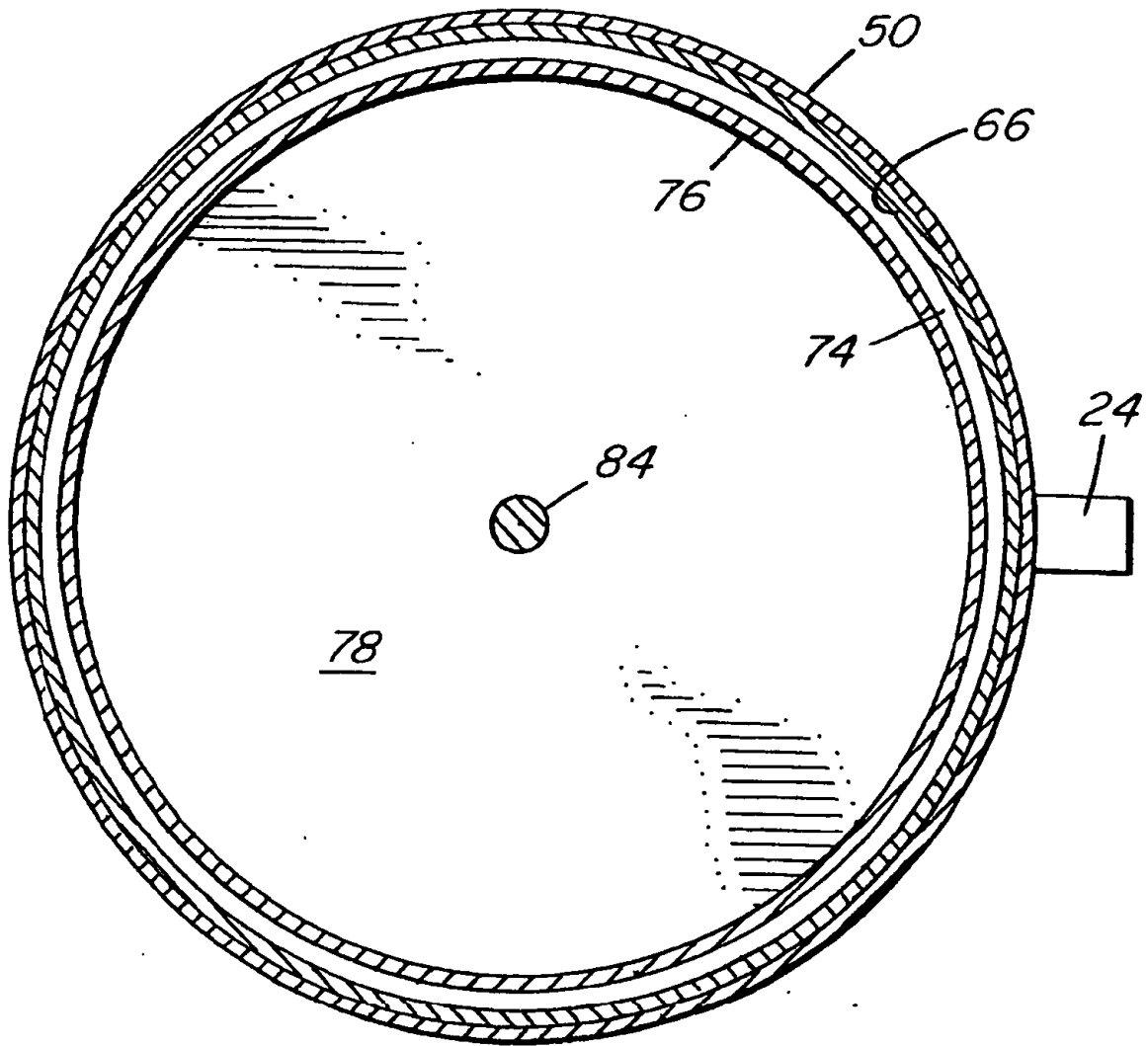


FIG. 2B

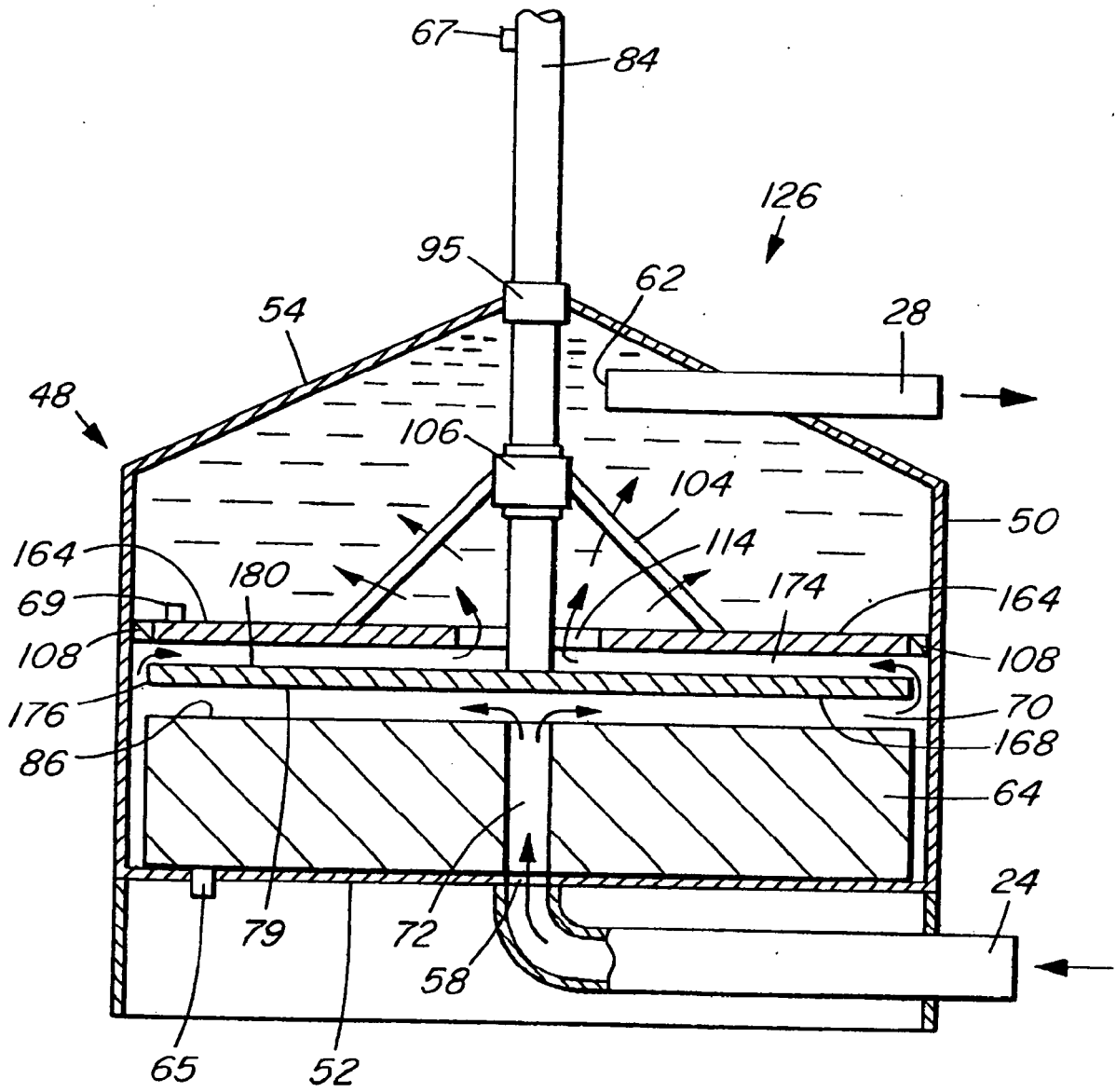


FIG. 3

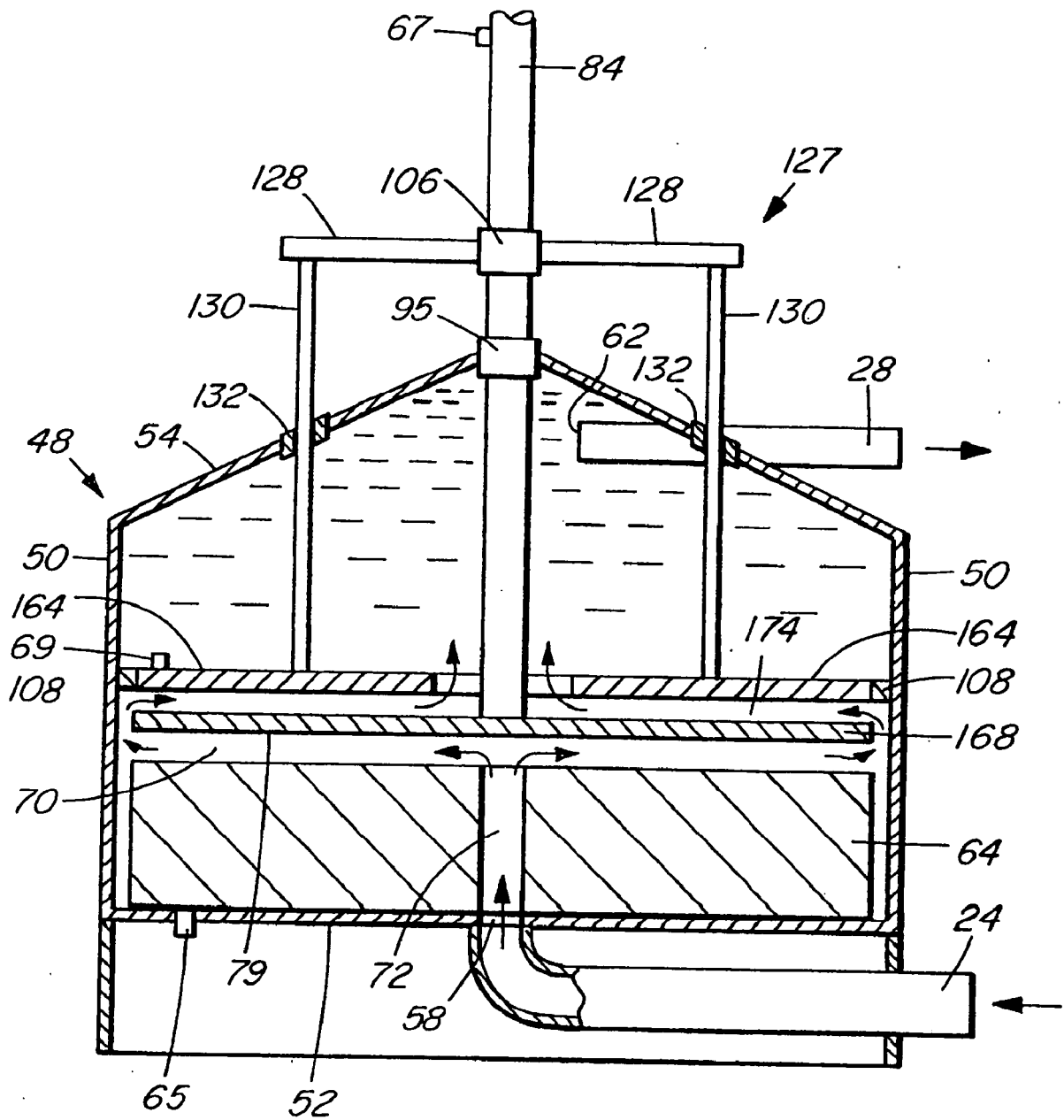


FIG. 4

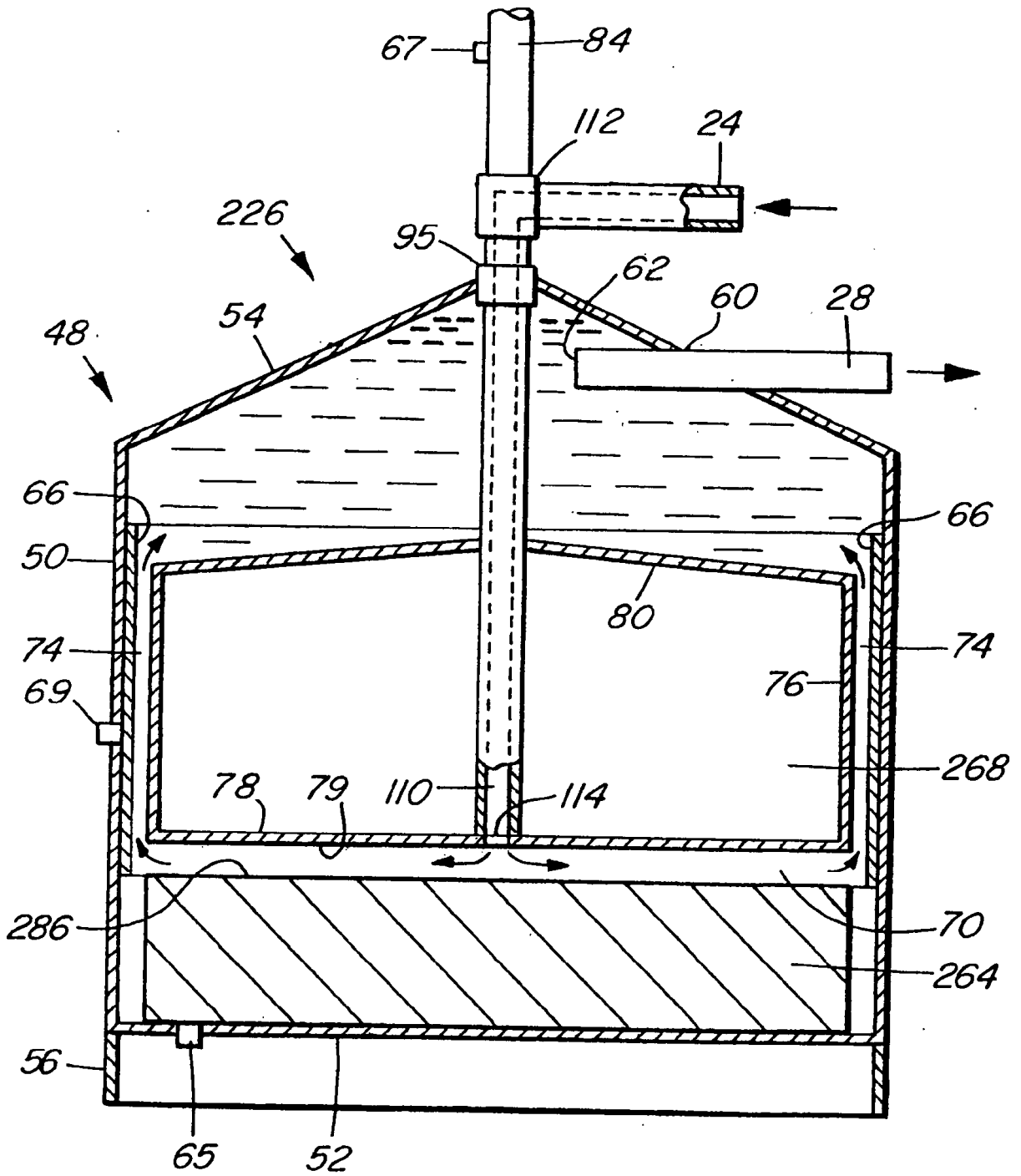


FIG. 5

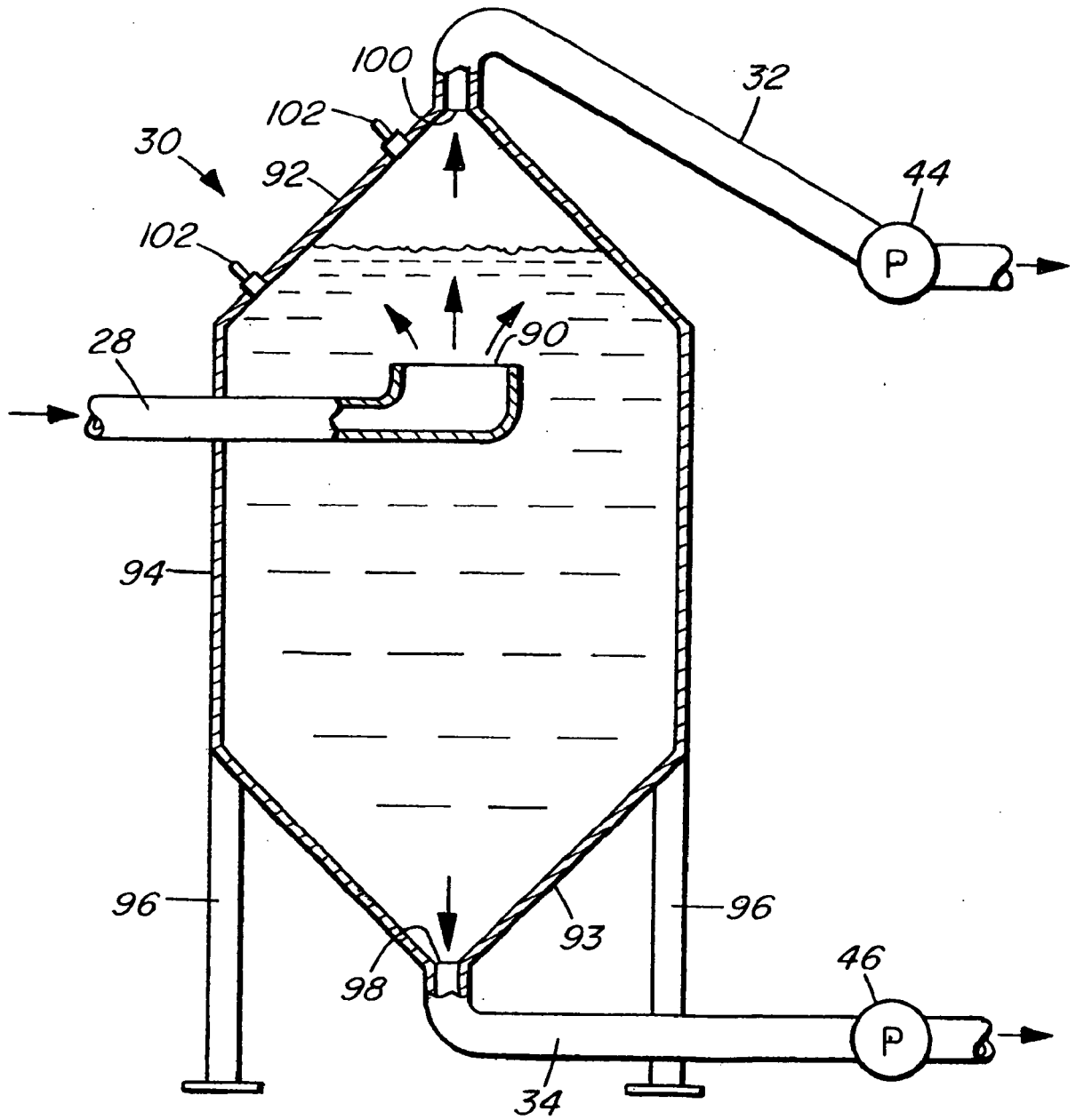


FIG. 6

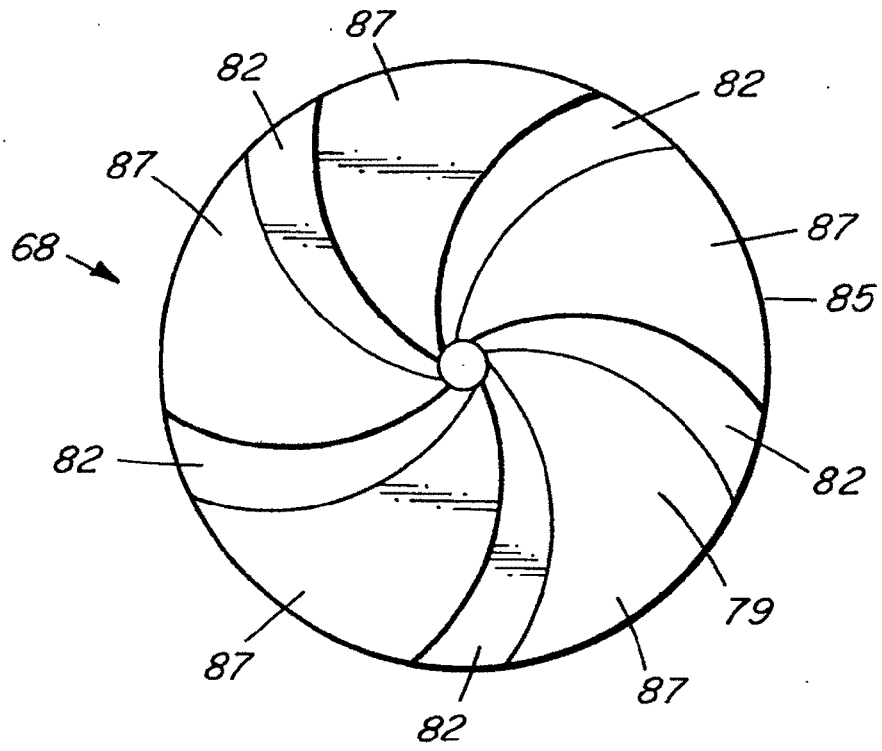


FIG. 7A

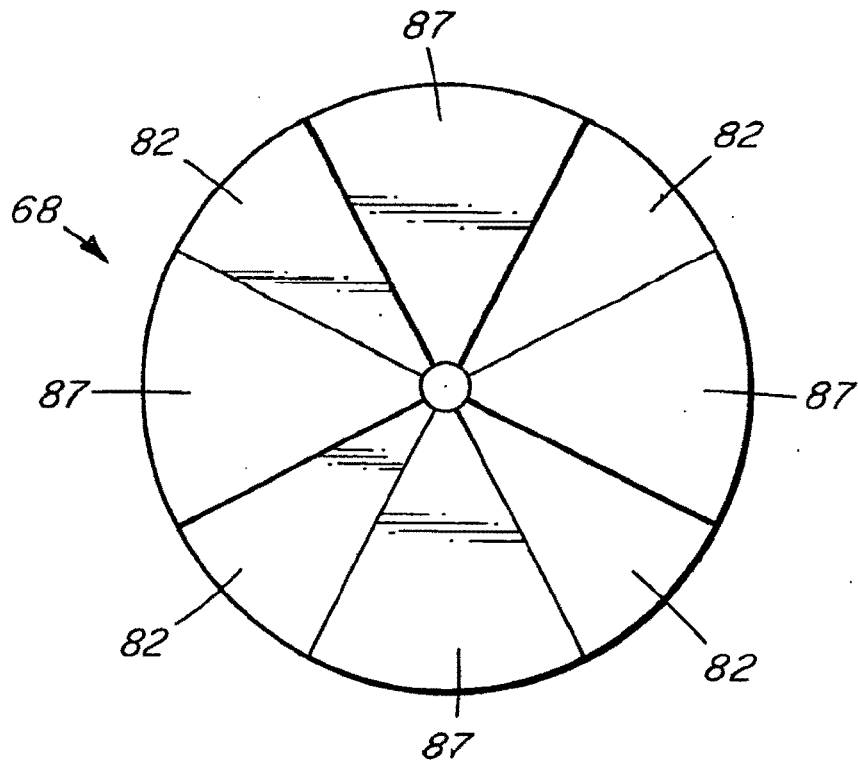


FIG. 7B

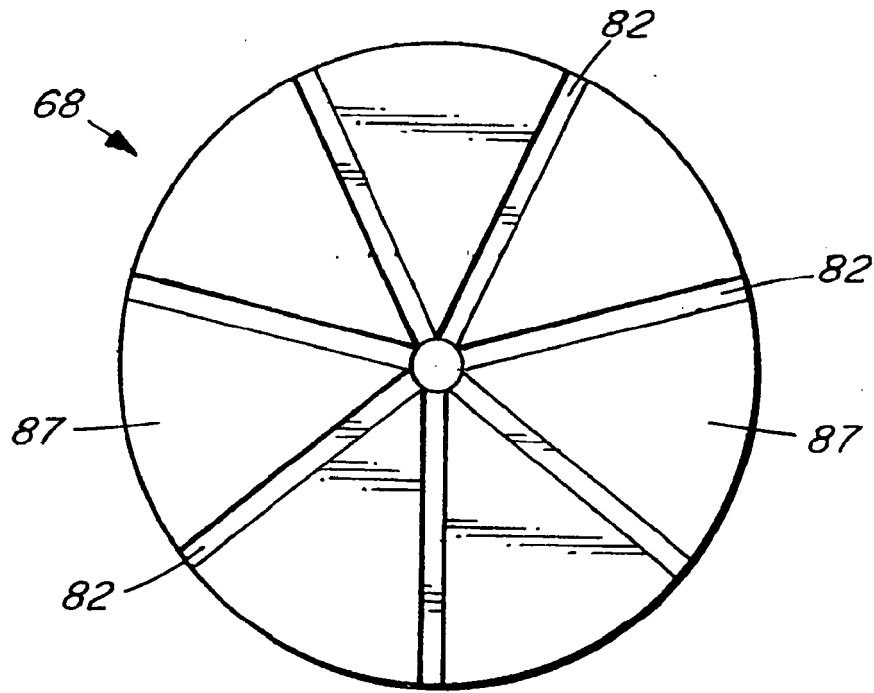


FIG. 7C

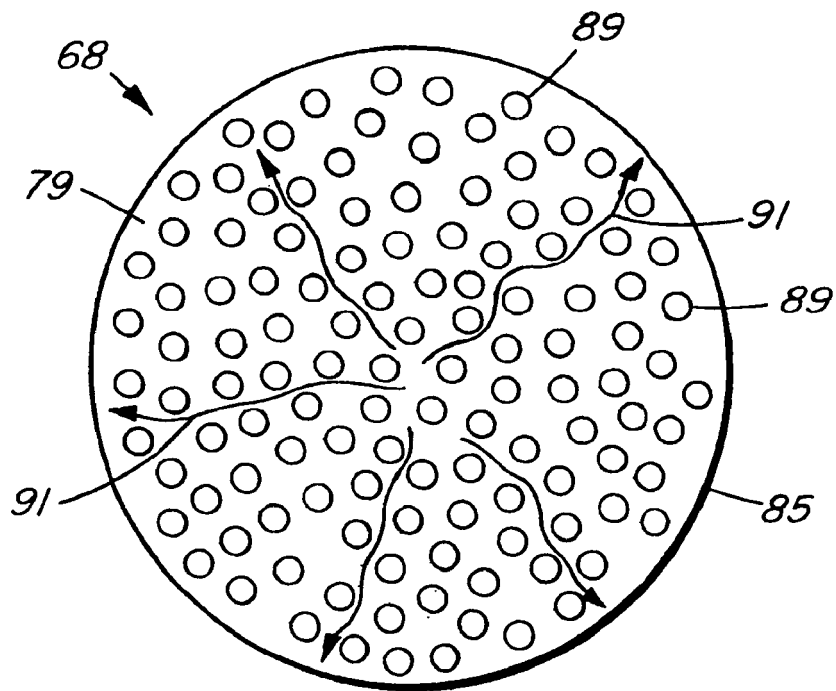


FIG. 7D