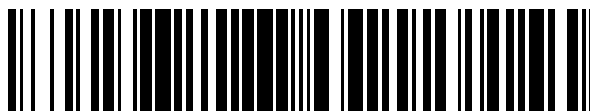


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 926**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/58** (2006.01)

**C02F 1/42** (2006.01)

**C02F 1/461** (2006.01)

**C02F 1/66** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03020853 .2**

96 Fecha de presentación: **15.09.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1400494**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.03.2004**

54 Título: **Tratamiento electroquímico de amoníaco en agua residual**

30 Prioridad:  
**16.09.2002 GB 0221439**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**03.04.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**03.04.2012**

73 Titular/es:  
**Enpar Technologies Inc.  
70 Southgate Drive, Unit 4  
Guelph, Ontario N1G 4P5 , CA**

72 Inventor/es:  
**Seed, Leonard Paul y  
Shelp, Gene Sidney**

74 Agente/Representante:  
**Arias Sanz, Juan**

ES 2 377 926 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**

Tratamiento electroquímico de amoniaco en agua residual

5 Esta invención se refiere a la descomposición de amoniaco y amonio disueltos, en agua residual, y al objetivo esencial de descarga del nitrógeno resultante en forma de gas nitrógeno. Se sabe que el tratamiento de amonio-agua por electrólisis puede liberar el nitrógeno en forma de gas nitrógeno, y la presente invención tiene por objeto mejorar la rentabilidad de esta tecnología de electrólisis.

**Antecedentes de la invención**

10 Los procedimientos no electrolíticos tradicionales de descomposición y retirada de amoniaco y amonio del agua han implicado básicamente el diseño de un sistema que expone el agua a oxígeno. Se promueven las reacciones de oxidación, lo que ha presentado normalmente un componente microbiológico aerobio alto. Sin embargo, estas reacciones de oxidación dejan predominantemente el nitrógeno en forma de nitrato (disuelto) y de diversos óxidos (gaseosos) de nitrógeno. Estos compuestos de nitrógeno por sí mismos pueden ser peligrosos para la salud, y no se deben descargar simplemente en el entorno, al menos no en las grandes cantidades que surgen del tratamiento de agua residual.

15 La publicación de patente US-6.083.377 (Lin+Shelp, julio de 2000) describe el uso de electrólisis, para efectuar la descomposición directa de amonio en gas nitrógeno. Aunque pueda ser eficaz, bajo muchas condiciones, la tecnología de electrólisis dada a conocer funciona mejor cuando la concentración de amonio es alta. Cuando la concentración es baja, la cantidad de energía eléctrica necesaria para accionar corriente a través de celdas electrolíticas puede afectar a la economía del procedimiento. Si el uso de energía se mantiene económico, el contenido de amonio del agua descargada, si bien se reduce, aún podría ser demasiado alto.

20 El documento US-A-3929600 da a conocer un procedimiento para retirar el nitrógeno de amoniaco del agua residual. El agua pasa a través de una columna de intercambio iónico, donde se adsorbe de amonio. Después de la regeneración de la columna con agua que contiene cloruro sódico, el agua que contiene amonio se conduce a una celda de electrólisis en la que el amonio se oxida a nitrógeno, que se descarga por medio de una columna de carbón activo.

Es un objetivo de la presente invención proporcionar (a) que se convierta el amonio en el agua residual, por electrólisis, directamente a gas nitrógeno; (b) que el nivel de concentración de amoniaco y amonio en el agua descargada sea aceptablemente bajo; y además (c) que sólo se requiera una cantidad económica de energía eléctrica.

30 La descomposición de amonio por electrólisis, cuando se diseña y se funciona de forma apropiada, evita la formación de los productos no deseados y de oxidación tóxicos. Además, se reconoce que el tratamiento electrolítico es mucho menos dependiente de la temperatura ambiente que la oxidación microbiológica aerobia. Es decir, la electrólisis es un procedimiento preferido, en especial en climas fríos, para lograr la disminución necesaria de amonio, si se puede realizar de forma más económica.

**La invención en relación con la técnica anterior**

35 En la invención, se proporciona un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye una estación de extracción y transferencia de amonio, en la que se extrae el amonio de solución de la corriente de agua residual. El amonio extraído se transfiere de nuevo a la solución, pero ahora en un cuerpo de agua secundaria. El agua secundaria no se mezcla con el agua residual.

40 El cuerpo de agua secundaria se proporciona como un vehículo que recibe el amonio extraído del agua residual. Ahora, el diseñador pueden diseñar el sistema para garantizar que el agua residual descargada del aparato tenga un contenido en amonio suficientemente bajo como para que el agua residual tratada se pueda descargar en el entorno, asegurando al mismo tiempo que la concentración de amonio en el agua secundaria es considerablemente mayor de lo que era la concentración en el agua residual entrante.

45 Se reconoce que el diseñador puede centrarse en el diseño de un tratamiento de amonio cuando el amonio está en el agua secundaria, mientras que, cuando el amoniaco está en el agua residual, también es muy posible que al tener que ocuparse del flujo de agua residual se podría comprometer el diseño del tratamiento de amonio. El amonio en el agua secundaria, que está más concentrado que el amonio en el agua residual entrante, es más fácil de tratar, ya que cuanto mayor sea la concentración, mayor será la velocidad a la que pueden tener lugar las reacciones de descomposición. Esto sería cierto incluso si el amonio se fuera a retirar por los procedimientos de oxidación microbiana aerobia tradicionales. Sin embargo, se reconoce que cuanto mayor sea la concentración de amonio en el cuerpo de agua secundaria, será mucho más económico extraer el amonio del agua secundaria por electrólisis, de lo que era extraer el amonio del agua residual en sí, directamente, por electrólisis.

55 El agua secundaria se hace circular a través de una celda electrolítica, de modo que se descompone el amoniaco en el agua secundaria. Preferentemente, la celda se hace funcionar de tal manera que el potencial redox del agua secundaria (comprendiendo el electrolito el agua secundaria) y el pH del agua secundaria, son de tal forma que el

amonio se descompone de tal manera que el componente de nitrógeno del amonio toma la forma de gas nitrógeno. El citado documento US-6.083.377, al que se dirige la atención en el presente documento, muestra cómo hacer funcionar una celda electrolítica de forma tal que se puedan dar las condiciones deseadas de Eh y pH, lo que dará lugar a la formación de gas nitrógeno.

- 5 Se reconoce que la cantidad de energía eléctrica necesaria para descomponer el amonio disuelto en gas nitrógeno está bien dentro de los límites de lo que es económicamente práctico, bajo un amplio intervalo de condiciones, cuando se realiza la electrólisis en el agua secundaria. En contraste, cuando se realiza la electrólisis directamente sobre el agua residual, sólo se puede llevar a cabo el sistema bajo un intervalo estrecho de condiciones. Se reconoce en la invención que la conversión de amonio disuelto directamente en gas nitrógeno se puede diseñar sustancialmente de forma más económica cuando se ha transferido el amonio del agua residual y se ha introducido en el agua secundaria, que cuando se disolvió el amonio en el agua residual en sí.

La invención tiene como objetivo proporcionar un sistema en el que se descarga el agua residual tratada sólo con un contenido en amonio insignificadamente bajo, lo que aún se puede llevar a cabo de forma económica bajo un amplio intervalo de condiciones.

- 15 En los sistemas que se describen en el presente documento, el amonio se retira de la corriente de agua residual y se transfiere al cuerpo del agua secundaria. Esto se puede llevar a cabo de varias maneras, de las que se describen dos en detalle. La etapa de electrólisis, que se lleva a cabo sobre el agua secundaria, y que convierte el amonio disuelto en gas nitrógeno, se puede llevar a cabo de forma económica en los dos casos.

- 20 Las dos formas en las que se puede extraer el amonio a partir de la corriente de agua residual y situar en solución en el agua secundaria se denominan en esta memoria descriptiva como el sistema de intercambio iónico y el sistema de alcalino-ácido.

- 25 Se prefiere el sistema de intercambio iónico cuando se trata con grandes cantidades de agua residual en la que la concentración de amonio es de media a baja. El sistema alcalino-ácido es más adecuado cuando la concentración de amonio en el agua residual es mayor. En muchas instalaciones, ocurre que, cuando está presente una corriente de volumen alto y concentración baja, también está presente una concentración de volumen bajo y concentración alta, y ambas deben ser tratadas. En esos casos, es económico tratar la corriente de concentración alta con el sistema alcalino-ácido; y después, se añadiría el efluente descargado de ese sistema a la corriente de volumen grande y concentración baja que entra en el sistema de intercambio iónico.

- 30 Se pueden utilizar otros sistemas para extraer de amonio a partir de una corriente de agua residual y transferir el amonio extraído al cuerpo del agua secundaria, además de los dos sistemas que se describen en el presente documento, como se requiera bajo diferentes circunstancias. En cada caso, la preferencia se basa en el hecho de electrolizar no el agua residual en sí, sino el agua secundaria.

- 35 En relación con el sistema de intercambio iónico tal como se describe en el presente documento, es bien sabido que el amonio disuelto se puede retirar del agua residual por intercambio iónico. Se proporciona un cuerpo sólido de medio absorbente, y el agua residual que contiene el amonio pasa a través del medio. El amonio se absorbe fuera de la solución a cambio de un catión (tal como sodio), y el medio retiene los iones de amonio en el material.

- 40 Cuando el medio de intercambio iónico se satura con amonio, entonces se ha de retirar el amonio del mismo. El flujo de agua residual se cierra, o se desvía del cuerpo absorbente, y se purga un volumen de agua de regeneración a través del cuerpo absorbente. El agua de regeneración contiene una concentración alta de cloruro de sodio disuelto, y los iones de sodio desplazan los iones de amonio absorbidos sobre el cuerpo absorbente. Después, los iones de amonio pasan a la solución en agua de regeneración.

- 45 Después de que se haya purgado el medio, el flujo de agua residual se puede alimentar de él y de nuevo el medio volverá a actuar para absorber el amonio del agua residual. El amoniaco se ha transferido ahora al agua de regeneración, que presenta ahora un nivel de concentración de amonio mayor que el que tenía el agua residual. El agua de regeneración, en el sistema de intercambio iónico, comprende el agua secundaria de la invención.

- 50 El sistema alcalino-ácido como se describe en el presente documento hace uso del hecho de que la solubilidad de amonio y el amonio asociado varía considerablemente en función del pH del agua en el que está disuelto. A pH alto, el amonio tiene una solubilidad muy baja, de modo que si el amonio está presente en el agua cuando se incrementa el pH del agua, bajo las condiciones termodinámicas correctas, el amonio se burbujeará fuera del agua como un gas. Igualmente, la solubilidad del amonio en agua a pH bajo es mucho mayor; por tanto, el agua a pH bajo tomará fácilmente el gas amoniaco en la solución.

- 55 En el sistema alcalino-ácido, el pH de la corriente de agua residual se eleva (por ejemplo, por la adición de hidróxido de sodio a la corriente), y el amoniaco gaseoso resultante se extrae en una corriente de aire. A menudo, el agua residual efluente se puede descargar de forma sencilla, a pesar de que tiene un pH alto; en caso de que la alcalinidad elevada sea un problema, se necesitarían medidas de reducción del pH. La corriente de aire/amoniaco pasa ahora a través de un cuerpo de agua de pH bajo (ácido), y el amoniaco se lleva a disolución en él. El agua ácida, en el sistema alcalino-ácido, comprende el agua secundaria de la invención.

5 El aparato de la invención incluye preferentemente una estación de extracción y transferencia de amonio y una estación de electrólisis. El cuerpo de agua secundaria está contenido preferentemente en un circuito de agua secundaria, que conduce el agua secundaria desde la estación de extracción y transferencia de amonio, en la que el agua secundaria recibe el amonio, hasta la estación de electrólisis, en la que el amonio disuelto se transforma en gas nitrógeno.

Preferentemente, el agua secundaria, que se ha electrolizado en la estación de electrólisis, se hace circular y recircular de nuevo a través de la estación de transferencia de amonio. Se arriesgaría considerablemente la rentabilidad de todo el sistema si el agua secundaria se descargara de forma sencilla después de un único paso a través de la estación de electrólisis.

10 Preferentemente, se debe proporcionar el agua secundaria sólo como un único volumen, que se puede hacer circular y recircular, más o menos indefinidamente, entre la estación de transferencia de amonio y la estación de electrólisis. Preferentemente, el organismo del agua secundaria debe permanecer separado de la corriente de agua residual, es decir, las dos no se deben mezclar. El agua secundaria debe estar contenida en componentes de contención de agua adecuados (columnas de tratamiento, tubos, depósitos, válvulas, bombas, etc.), que están dispuestos para mantener el agua secundaria separada del agua residual.

#### **Descripción detallada de realizaciones preferidas**

A modo de explicación adicional de la invención, las realizaciones ejemplares de la invención se describirán ahora con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

20 La figura 1 es un diagrama que muestra elementos de aparato que se han combinado y configurado para funcionar de acuerdo con la invención.

La figura 2 es un diagrama que muestra elementos de aparato que se han combinado y configurado de una manera alternativa para funcionar de acuerdo con la invención.

La figura 3 es un diagrama que muestra algunos aspectos del control de un sistema que realiza la invención.

25 La figura 4 es un diagrama de una planta de tratamiento de agua residual municipal, que incluye aparatos similares a las figuras 1 y 2.

Los aparatos mostrados en los dibujos adjuntos y descritos a continuación son ejemplos que realizan la invención. Debe tenerse en cuenta que el alcance de la invención se define por las reivindicaciones adjuntas, y no necesariamente por características específicas de realizaciones ejemplares.

30 En el aparato de la figura 1, el amonio se retira de una corriente de agua residual por absorción sobre un medio absorbente adecuado, dejando la corriente de agua residual suficientemente limpia para que se descargue. El amoniaco se retira del medio absorbente, y se transfiere a un cuerpo de agua secundaria, por intercambio iónico. El agua secundaria, que ahora contiene el amonio, se pasa a través de una estación de electrólisis, en la que el amonio se transforma en gas nitrógeno.

35 La figura 1 muestra el agua residual que se va a tratar entrando en el aparato 20 a través de un puerto de entrada 4, y pasando a través de una estación de absorción 23, que incluye las columnas de intercambio iónico 1, 2, 3. El agua residual se puede pasar a través de una sola de las columnas, o a través de más de una de las columnas, en serie. El amonio en el agua residual se absorbe sobre los cuerpos de material de medio absorbente en las columnas. El agua residual tratada pasa después fuera del aparato de tratamiento a través de un puerto de descarga 5, sustancialmente libre de amoniaco/amonio.

40 La absorción de amonio fuera del agua residual es de hecho muy conocida, y es muy conocido que una estación apropiadamente diseñada puede ser muy efectiva en la disminución del nivel de amonio hasta concentraciones insignificantes, en agua residual descargada desde la estación de absorción, y por eso no es necesario que este tipo de estación de absorción sea cara.

45 En comparación, una instalación en la que se retira el amonio del agua residual directamente por electrólisis (como en el documento US-6.083.377), sería considerablemente menos económica que la estación de absorción correspondiente que se necesitaría para disminuir el agua residual hasta una concentración (baja) dada. Por otra parte, por supuesto, en una estación de absorción, el amonio permanece intacto, mientras que en una estación electrolítica el amonio se convierte directamente en gas nitrógeno.

50 Cuando el material absorbente, por ejemplo en la columna 3, se ha saturado con amonio, se hacen funcionar las válvulas de control de flujo de agua 34, para desviar la corriente de agua residual entrante desde la columna 3 saturada hasta una de las otras columnas. Las válvulas de control también se hacen funcionar para provocar que el agua del depósito de regeneración 8 circule a través de la columna 3 saturada. La circulación de regeneración a través de la columna 3 se indica por las flechas discontinuas en la figura 1. Las válvulas se pueden hacer funcionar de tal modo que

pase el agua de regeneración desde el depósito 8 a través de las otras columnas 1, 2, por supuesto, siempre y cuando las columnas estén saturadas con amonio.

5 El cuerpo del agua secundaria, en este caso, es el agua de regeneración del depósito 8, que se purga a través de la resina de intercambio iónico en la columna 3. Se trata de agua que se ha cargado con una concentración alta de cloruro de sodio (es decir, el agua de regeneración es salmuera concentrada). Los iones de sodio desplazan el amonio, sobre el material absorbente, en la columna. El amonio pasa a la solución, ahora dentro del agua de regeneración. Los iones de sodio permanecen sobre el medio absorbente. El flujo del agua de regeneración está controlado por las distintas válvulas y bombas, en el depósito de regeneración 8, en la estación de electrólisis 24, y en otros lugares, como se muestra.

10 El diseño de la estación de intercambio iónico, en sí mismo, pueden seguir tecnología tradicional. La sal disuelta en el agua de regeneración puede ser cloruro de sodio, que es satisfactorio, y barato. Se pueden usar otras sales en el agua de regeneración, para proporcionar la función de intercambio iónico, tales como sales de cloruro de potasio y de calcio.

15 En algunos casos, se puede preferir incrementar el pH de la salmuera hasta diez; esto desplaza el equilibrio redox desde el amonio soluble más hacia el gas de amoníaco, lo que puede contribuir a la extracción de amonio desde las columnas de intercambio iónico, hasta niveles incluso menores.

Tradicionalmente, el material absorbente de intercambio iónico puede comprender materiales naturales tales como zeolitas, o resinas sintéticas equivalentes que actúan como intercambiadores catiónicos, y se puede seguir esa tradición en el presente caso. Preferentemente, el material de medio absorbente debe estar configurado para captar específicamente el amonio como la sustancia que se va a absorber.

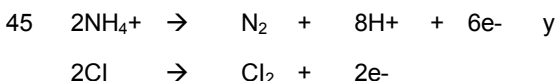
20 Cuando el medio de intercambio iónico en la columna 3 se ha purgado bien de amonio, las válvulas de control 34 se hacen funcionar de nuevo, para que la columna se abra una vez más al flujo entrante de agua residual, y esté disponible para absorber el amonio fuera del agua residual. Se puede hacer funcionar el medio de intercambio iónico ahora purgado, una vez más, para capturar iones de amonio de la solución, es decir, fuera del agua residual que se va a tratar.

25 El diseñador puede preferir pasar el agua residual entrante a través de más de una de las columnas, si está disponible de más de una, haciendo pasar el agua residual en primer lugar a través de la columna que esté casi más saturada, y después a través de la columna menos saturada.

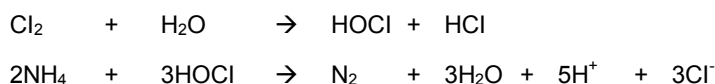
30 El agua de regeneración, después de volver de la columna de intercambio iónico, contiene una concentración alta de amonio. De conformidad con la invención, el agua de regeneración cargada de amonio (agua secundaria) se hace circular a través de la estación de electrólisis 24. Aquí, el amonio se descompone y el componente de nitrógeno del mismo se libera como gas nitrógeno, en 10. El contenido en amonio en el agua de regeneración, que es el amonio que se ha purgado del absorbente en la columna, está a una concentración mayor en el agua de regeneración de lo que estaba en el agua residual que pasó a través de las columnas, y de nuevo cabe señalar que se puede usar energía eléctrica para promover las reacciones de descomposición de amonio, por electrólisis, con una eficiencia muy mejorada, si la concentración de amonio es alta.

35 Ahora se considerarán las reacciones de descomposición que tienen lugar en la estación de electrólisis 24. En la estación de electrólisis, el amonio disuelto en el agua de regeneración, o agua secundaria, se descompone en el ánodo en gas nitrógeno. La reacción crea iones de hidrógeno y electrones. Los iones cloruro en el agua también reaccionan en el ánodo, produciendo cloro y electrones. El cloro se disuelve en y se combina con agua, para formar y ácidos clorhídrico e hipocloroso. Después, el amonio aún presente en el agua reacciona en especial con el ácido hipocloroso, para crear nitrógeno (gas), y para liberar iones hidrógeno e iones cloruro en el agua. (Se reconoce que se pueden diseñar reacciones paralelas usando bromuro y otras sales de haluro).

Por tanto, las principales reacciones electrolíticas de interés son reacciones de oxidación que se producen en el ánodo, que incluyen:



Las reacciones químicas que resultan incluyen:



50 Estas reacciones son muy simples de diseñar. Es posible monitorizar y controlar el pH y el potencial redox del agua de regeneración que pasa a través de la celda electrolítica 9, pero se reconoce que las condiciones se pueden diseñar fácilmente sin un control estricto. Una vez se han creado termodinámicamente las condiciones en las que tienen lugar las reacciones, la tendencia del amonio a transformarse directamente en gas nitrógeno es muy fuerte. Se producen muy pocos de los productos de oxidación no deseados, tales como nitrato y los diversos óxidos de nitrógeno.

Por tanto, el amonio en el agua de regeneración se retira, dejando sólo gas nitrógeno, y un poco de acidez en el agua de regeneración. Esto último se puede tratar con medidas de control de pH adecuadas. En la figura 1, éstas incluyen un sensor de pH 13, y un depósito 12 de un cáustico. Cuando el cáustico es hidróxido de sodio, también sirve para reponer el sodio perdido en el procedimiento regenerativo.

- 5 Se puede observar que el cloro (en forma de HOCl) en el agua de regeneración, que participa en las reacciones, después se reconvierte en cloruro. Básicamente, el agua de regeneración, al final del ciclo de intercambio iónico y de electrólisis, se encuentra ahora más o menos en la condición que estaba antes de que tuviera lugar el intercambio iónico. Con la previsión de la filtración/precipitación de impurezas, y para añadir pequeñas cantidades de composición de sus constituyentes, en caso necesario, el agua de regeneración se deja preparada para participar en otras reacciones de electrólisis. De hecho, el agua de regeneración se puede reciclar durante un periodo indefinido. La cantidad de material residual generado preparando el agua de regeneración para sea adecuada para el reciclado durante largos periodos es pequeña, de modo que casi no se puede realizar una comparación entre la retirada de esta pequeña cantidad de residuos, y la retirada de enormes cantidades de agua residual rica en amonio tratada de forma inadecuada.
- 10
- 15 El agua de regeneración, que es de fuerza iónica alta, tiene una resistencia eléctrica baja. Es el agua de regeneración la que se vuelve el electrolito de la celda electrolítica 9, en la estación de electrólisis 24, de modo que esta resistencia baja ayuda a garantizar que los requisitos de energía eléctrica de la estación se reduzcan.

Cabe señalar que el agua de regeneración contiene cloruro de sodio, o alguna sal similar, en concentración alta. Se reconoce que la presencia de esta sal en el agua de regeneración significa que el agua de regeneración sea mucho más eléctricamente conductora de lo que era el agua residual. Por tanto, la energía necesaria para electrolizar el agua de regeneración, simplemente porque el agua de regeneración es salada, se reduce mucho, en comparación con la energía necesaria para electrolizar el agua de regeneración en sí, directamente.

20

Como se ha explicado, el agua de regeneración, aunque sujeta a composición ocasional de alguno de sus constituyentes, básicamente no se modifica por el ciclo de intercambio iónico/electrólisis y se puede reciclar y reutilizar durante un largo período. Esto puede contrastar con muchos sistemas de intercambio iónico tradicionales, en los que el agua de regeneración se usa una vez, para capturar el contaminante, y después se desecha con el contaminante todavía intacto.

25

En el presente caso, tratar amonio con la combinación de intercambio iónico y electrólisis significa que: a) el volumen contenido de agua de regeneración se puede adaptar a los requisitos de electrólisis eficaz mucho más fácilmente que el de una corriente de agua residual; (b) el hecho de que el agua de regeneración tenga una fuerza iónica grande significa que la resistencia eléctrica del agua es baja, lo que conduce a una electrólisis eficaz; y (c) el ciclo de la reacción de amonio global deja el agua de regeneración sin modificar químicamente, es decir, como estaba antes de que se capturara el amonio y, por lo tanto, se puede reciclar.

30

La figura 2 muestra una alternativa, denominada en el presente documento sistema alcalino-ácido, de modo que el amonio se extrae de la corriente de agua residual y se transfiriere al cuerpo de agua secundaria. En la figura 2, el agua entrante se trata en primer lugar, por ejemplo, con hidróxido de sodio, para elevar su pH. La invención hace uso del hecho de que, a pH elevado, el amonio disuelto en el agua sale de la solución, y se transforma en gas de amoniaco.

35

Preferentemente, el sistema alcalino-ácido se usa principalmente cuando la corriente de agua residual está contaminada con una concentración alta de amonio, pero el caudal global de la corriente de agua residual es comparativamente baja. Esta corriente de concentración alta puede surgir en una planta de tratamiento de aguas residuales siendo, por ejemplo, el agua que ha surgido del drenaje de lodo residual. O bien, esta corriente de concentración alta puede surgir en una planta química que usa, por ejemplo, amonio. Se observa que, cuando está presente una corriente de amonio de concentración alta, casi siempre se da el caso de que también esté presente una corriente de concentración baja, a un caudal mucho mayor, y es necesario que se traten ambas corrientes. Sin embargo, la corriente de concentración alta no se debe mezclar simplemente con la corriente de concentración baja, para un tratamiento combinado, ya que las colonias de bacterias que descomponen los contaminantes orgánicos del agua residual se pueden exterminar por una aplicación momentánea de amonio altamente concentrado.

40

45

Normalmente se preferirá, por lo tanto, tratar la pequeña corriente de concentración alta, en el sistema alcalino-ácido, y después, mezclar esa corriente de agua efluente con la corriente principal de agua residual, con sus concentraciones bastante menores. Se reconoce que el sistema alcalino-ácido es el más eficaz económicamente cuando se usa para disminuir la concentración de amonio desde niveles altos a niveles medios; por otro lado, el sistema de intercambio iónico es el más eficaz económicamente cuando se usa para disminuir la concentración de amonio desde niveles medios hasta niveles de liberación medioambientalmente seguros (normalmente, por debajo de un mg/litro de amoniaco/amonio-N).

50

El sistema alcalino-ácido se podrían usar para disminuir las concentraciones de amonio altas hasta niveles muy bajos, directamente, pero esto puede ser poco rentable debido al uso de recursos, y puede comportar el aumento del pH del agua residual hasta niveles desagradablemente altos.

55

Por tanto, los dos sistemas se pueden complementar entre sí, y preferentemente se pueden usar juntos, uno junto al otro en las mismas instalaciones de tratamiento de agua. Se señala, de nuevo, que el sistema de intercambio iónico y el sistema alcalino-ácido se utilizan para extraer amonio de la corriente de agua residual, y para transferir el amonio al cuerpo del agua secundaria. En ambos sistemas, el amonio se retira después del agua secundaria en la estación de electrólisis, transformándose en nitrógeno gaseoso.

En la figura 2, la corriente de agua residual entrante 35 tiene su pH elevado, por ejemplo, hasta diez, usando un depósito 36 de sosa cáustica. El agua residual de pH alto pasa a través de una columna alcalina 37. Aquí, el gas de amoníaco se burbujea fuera de la corriente de agua residual. El gas de amoníaco se transporta por un circuito de circulación de aire forzado 38, que incluye un ventilador 39. La corriente de agua residual (limpia) se descarga en 40 (en el entorno o bien mezclado con otra corriente de agua residual entrante para tratamiento posterior, como se acaba de describir).

Los gases de aire/amoniaco pasan ahora a la columna de ácido 42. En 43, el agua a pH bajo, por ejemplo, al nivel de pH de cuatro o tres, entra y circula a través de la columna. El gas de amoníaco pasa fácilmente a la solución en este ácido-agua, formando amonio, de modo que la concentración de amoníaco en el aire que emerge en 45 se reduce mucho. Por tanto, el ácido-agua que emerge en 46 de la columna de ácido 42 contiene ahora el amonio extraído de la corriente de agua residual 35, y es el agua secundaria de la invención. El agua secundaria circula y recircula a través de la celda electrolítica 47, en gran parte del mismo modo que se describe anteriormente en relación con el sistema de intercambio iónico, de modo que el amonio se transforma en nitrógeno gaseoso, y se descarga.

Cuanto más ácido sea el ácido-agua que entra en 43, más gas amoniaco se extrae de la mezcla de aire/amoniaco, de modo que, a un pH bajo (por ejemplo, cuatro o tres), el gas que entra ahora en la columna alcalina 37 tiene una concentración muy baja de amoníaco. Cuanto menor sea la concentración de amoníaco del gas que pasa a la columna alcalina, en 45, se retirará más eficazmente el amonio de la solución del agua residual. Se puede señalar que no es una dificultad para el diseñador proporcionar el hecho de que el agua secundaria esté a pH bajo (en comparación con los problemas que se podrían encontrar si fuera la corriente de agua residual la que tuviera que estar a ese pH bajo).

En la figura 2, el agua secundaria se conduce hasta los niveles de pH bajos requeridos, por la adición, por ejemplo, de ácido clorhídrico. Se proporcionan un depósito 49 y un sistema de medición/control 50 para este fin.

Se puede señalar que el agua a pH bajo, al igual que el agua que contiene cloruro sódico, tiene una resistencia eléctrica baja, lo que ayuda a la economía del tratamiento electrolítico. Cuando el amonio se extrae y se transfiere usando el sistema de intercambio iónico, como en la figura 1, el agua secundaria se puede caracterizar como salmuera; cuando el amonio se extrae y se transfiere usando el sistema alcalino-ácido, como en la figura 2, el agua secundaria se puede caracterizar como ácido clorhídrico. En ambos casos, la transformación de amonio disuelto en nitrógeno gaseoso, se puede realizar económicamente por electrólisis.

Se describió en relación con el sistema de intercambio iónico (figura 1), que a menudo es posible disponer el agua secundaria (es decir, el agua de regeneración), que ha tomado el amonio en la estación de intercambio iónico, y que ha descargado ese amonio en la estación de electrólisis, que se restablezca más o menos a la misma condición en la que habría estado si no hubiera pasado a través de las dos estaciones. Es decir, el agua secundaria podría (casi) autorreplicarse. Como tal, el agua secundaria se puede hacer recircular a través del sistema de intercambio iónico de forma más o menos indefinida.

En el sistema alcalino-ácido, no es tan sencillo para el diseñador disponer el agua secundaria para que se autorreplique de forma similar. En general, es necesario añadir ácido clorhídrico recién preparado, en 49, 50, para el agua secundaria, en una base más o menos continua. Sin embargo, cabe señalar de nuevo que la liberación de gas nitrógeno en la celda 47 es un factor en sí para que el electrolito en la celda sea más ácido; y, en algunos casos, en efecto, es posible disponer que la acidez creada por la liberación de nitrógeno mantenga el agua secundaria en niveles de pH suficientemente bajos como para disolver prácticamente todo el amoniaco fuera de la mezcla de aire/amoniaco, en 45, ya que el agua secundaria pasa a través de la columna 42, sin necesidad de que se añada ácido clorhídrico adicional.

El agua secundaria nunca se puede autorreplicar totalmente. Dependiendo de las características químicas de la corriente de agua residual, el agua secundaria puede coger impurezas, suficientes como para afectar a sus capacidades de purgado de amonio, o como para afectar a la eficacia del procedimiento de electrólisis, o de otro modo como para arriesgar el buen funcionamiento de la planta de tratamiento. El agua secundaria impura podría tener que acondicionarse periódicamente usando precipitación y filtración, para retirar compuestos no deseados. Sin embargo, la cantidad de residuos generados por este procedimiento sería muy pequeño, en comparación con el problema de la eliminación de grandes cantidades de agua residual rica en amonio tratada de forma inadecuada.

En el sistema de intercambio iónico (figura 1), preferentemente el agua secundaria se debe disminuir hasta concentraciones muy bajas de amonio, para que el agua de regeneración pueda retirar todo el amonio que sea posible de la resina de intercambio iónico en las columnas 1, 2, 3. Cuanto menor sea la concentración de amonio en el agua de regeneración, más eficaz puede ser el procedimiento de intercambio iónico, en purgar los iones de amonio del material en las columnas 1, 2, 3, y en el agua de regeneración. Por tanto, se prefiere hacer circular la salmuera (agua de

regeneración) a través de la celda electrolítica 9 y a través de la columna 9 de forma continua; después, mientras progresa la electrólisis, y la concentración de amonio en la salmuera disminuye de forma gradual, de modo que los últimos restos de amonio almacenado en absorbente se pueden capturar finalmente.

5 Lo mismo se puede aplicar en el caso alcalino-ácido, ya que, de nuevo, el agua secundaria se debe hacer recircular a través tanto de la columna de ácido 42 como de la celda 47 continuamente. Este punto tiene varios aspectos, sin embargo.

10 Por supuesto, el agua secundaria no se debe constituir como una corriente que pasa a través del sistema una vez y después se descarga, ya que esto sería lo menos económico. Preferentemente, el agua secundaria se debe disponer para recircular a través tanto de la columna de ácido como de la celda de electrólisis. Sin embargo, no es necesario, en especial en el sistema alcalino-ácido, que el agua secundaria circule a través de ambas estaciones de forma simultánea.

15 Por tanto, se puede disponer que el agua secundaria sea procesada en dos etapas bastante separadas, es decir, que el agua secundaria se haga circular en primer lugar a través de la columna de ácido, para retirar el amonio, y después se almacene en un depósito. Después, se lleva a cabo la electrólisis (cuando de nuevo el agua secundaria se debe hacer recircular a través de la celda). En esta disposición, la fase de columna de ácido se termina y se completa antes de que el agua secundaria se transfiera a la estación de electrólisis, y la electrólisis se termina y se completa antes de que el agua secundaria sea devuelta a la columna de ácido. Esta carencia total de procesamiento simultánea no se prefiere.

20 En el caso del sistema alcalino-ácido, la verdadera preferencia radica en lo que se puede denominar recirculación en lote. Aquí, en primer lugar, el ácido:agua se recircula sólo a través de la columna de ácido y no a través de la celda electrolítica, hasta que la concentración de amonio alcance, por ejemplo, un veinte por ciento. El pH óptimo para esta fase podría ser, por ejemplo, tres en un caso particular. Pero entonces, el ácido-agua se pasa a través de la estación de electrólisis, para la que el pH óptimo podría ser, por ejemplo, seis o siete. (El ácido-agua podría seguir circulando a través de la columna de ácido así durante la fase de electrólisis).

25 Después de un tiempo, una vez que ha disminuido la concentración de amonio en el ácido-agua, el pH del ácido-agua se reduce de nuevo, y se hace circular el ácido-agua de nuevo una vez sólo a través de la columna de ácido. En otras palabras, la forma más eficaz de procesar el ácido-agua, en algunos casos, es la de variar el pH de forma periódica, para, en primer lugar, favorecer la transferencia de amoníaco en solución, y después para favorecer la transformación en gas nitrógeno, de forma alternativa.

30 Hay que señalar que en cualquier sistema se prefiere que las dos fases del procesamiento del agua secundaria se separen completamente. Si se dispuso que una fase se termine y se complete antes de que comience la fase alternativa, surgirían ineficiencias considerables debido a las grandes variaciones de concentración.

35 Preferentemente, la celda electrolítica 9,47 está estructurada con muchos ánodos y cátodos, y la celda puede tener una configuración dividida, en la que las membranas separan los compartimentos anódicos y catódicos, o no dividida. Los electrodos de la celda se pueden configurar en una disposición bipolar o monopolar, según sea necesario. Los ánodos se pueden recubrir con un material catalítico (platino o diversos óxidos metálicos, por ejemplo) para promover las reacciones deseadas. El diseñador debería tratar de hacer funcionar el reactor electroquímico a una densidad de corriente tal que el potencial de media celda del ánodo se mantenga por encima de 1,2 voltios (con respecto a un electrodo de hidrógeno estándar) para promover las reacciones de ánodo descritas anteriormente.

40 Se puede tener en cuenta la facilidad con la que la planta de tratamiento se puede automatizar. La figura 3 muestra un sistema básico. Se pueden usar sensores para monitorizar las concentraciones de amoníaco de puerto de entrada y puerto de descarga de agua residual y se reconoce que es adecuado, en muchos casos, si el control de todo el sistema se basa en estas dos medidas. Se puede añadir más sofisticación, por ejemplo, con sensores para monitorizar la situación de las reacciones de descomposición por electrólisis, pero los sensores en sí aún son simples, y las acciones que resultan de las señales de éstos simplemente provocan que las válvulas se abran y se cierren, para regular flujos y circulaciones a través del sistema. Los sensores pueden incluir, por ejemplo, sensores 6,7 para la concentración de amonio, niveles de pH, magnitudes de voltaje y amperaje, y así sucesivamente.

50 Uno de los aspectos importantes de control del sistema eléctrico 11 es el de desconectar la alimentación de la celda cuando se completan las reacciones. Esto deberá hacerse ni demasiado pronto (lo que dejaría algo de amonio en el agua secundaria) ni demasiado tarde (lo que gastaría electricidad).

55 Se puede calcular el tiempo de electrólisis (habiendo realizado experimentos piloto para determinar las características funcionales de la celda) si se conoce la masa de amoníaco/amonio-N que se ha transferido al agua secundaria y, como se menciona, esa masa se puede calcular, con un grado de precisión normalmente adecuado, simplemente comparando la concentración de amonio en la corriente de agua residual entrante con la de la corriente de descarga. El sistema de control calcularía la cantidad de tiempo de electrólisis necesario para retirar esa masa de amonio. Probablemente, también se requiere realizar pruebas piloto para determinar la capacidad de carga de las columnas de intercambio iónico, y/o de las columnas de alcalino y ácido, para completar los datos necesarios para permitir que estos cálculos se realicen.



Una vez se ha electrolizado el agua secundaria lo suficiente como para reducir el contenido en amonio, sencillamente se desconecta la electricidad de la celda. En algunos casos, pueden no ser necesarios los sensores, como tal, ya que es suficiente que la celda funcione con un simple temporizador. De nuevo, se puede determinar la cantidad de tiempo que se debe energizar la celda por cálculo, conociendo la cantidad de amonio transferido al agua secundaria.

5 La figura 4 muestra cómo el aparato de la figura 1 y el aparato de la figura 2 se pueden incorporar, por ejemplo, en una planta de tratamiento de aguas residuales municipal. El volumen principal del efluente de la parte de sedimentación de lodo de la planta pasa, en 64, a la estación de intercambio iónico 65 y su estación de electrólisis 67. El agua procedente del área de drenaje del lodo, con su concentración de amonio mayor, en 70, se trata por la estación de alcalino-ácido 68 y su estación de electrólisis 69. El agua tratada de la estación de alcalino-ácido 68, en 72, se mezcla con la corriente principal de agua residual 64 que entra en la estación de intercambio iónico 65.

10 Como se muestra en la figura 4, se pueden proporcionar otras estaciones en la planta, incluyendo la retirada de arena 26, un clarificador primario 27, un reactor de lodo activado 29, un clarificador secundario 30, un tratamiento UV o de cloración 32. Se prefiere que el agua residual que se va a tratar se conduzca a través de las columnas de intercambio iónico después de que el agua residual haya pasado a través de las otras estaciones, al menos a través de aquellas en las que se han retirado sólidos suspendidos y material orgánico disuelto.

15 Conviene señalar que, ya que el amoniaco se trata con el sistema de intercambio iónico y electroquímico como se describe en el presente documento, estas otras estaciones de tratamiento en el sistema municipal se pueden diseñar mejor para sus funciones de descomponer y retirar contaminantes orgánicos del agua. En los sistemas de tratamiento tradicionales, a veces las otras estaciones se tienen que comprometer teniendo que proporcionar una zona para microbios aerobios para el tratamiento de amonio. Ahora, estas estaciones, que están exentas de la tarea de oxidación de amonio, se pueden optimizar para la tarea de descomponer los contaminantes orgánicos.

Las instalaciones tales como la cloración 32, para la retirada de patógenos, se deben situar preferentemente después de las estaciones de tratamiento de amonio.

25 Se debe señalar también que las estaciones de oxidación de amonio microbiológica aerobia tradicionales ocupan un gran espacio de terreno. En cambio, las distintas columnas, como se describe, se pueden disponer verticalmente (es decir, como columnas de lecho empaquetado o de lecho fluidizado), permitiendo así un ahorro en el espacio requerido. Los componentes del circuito de agua secundaria, incluyendo la celda electrolítica, no ocupan mucho espacio, sobre la escala en la que se miden las estaciones aerobias.

30 Otras áreas en las que se puede aplicar la tecnología descrita (aparte de las instalaciones de tratamiento de agua municipales principales) incluyen:

- Tratamiento de efluente de lagunas o estanques de tratamiento de aguas residuales. Las lagunas de aguas residuales se usan a menudo por pequeñas comunidades para el tratamiento de agua residual municipal. El sistema de intercambio iónico y electroquímico se podría usarse para retirar el amoniaco del efluente antes de la descarga.

35 - Tratamiento de agua residual de minas contaminada como resultado de agentes explosivos y otros circuitos de procesado.

- Tratamiento de efluente de procesado de alimento.

- Tratamiento de agua residual industrial, tal como de fábricas de fabrican productos de fertilizantes.

Ahora se describirán algunos puntos adicionales sobre el diseño de un sistema de tratamiento que se va a hacer funcionar de acuerdo con la invención.

40 El sistema tal como se describe en el presente documento se puede usar a gran escala municipal; o se puede usar para tratar la corriente de agua residual de una casa o de unas pocas casas, antes de descargar en un lago o río, o se puede usar para tratar la corriente de agua residual rica en amonio de, por ejemplo, una fábrica de fertilizante. En cada caso, en la práctica la invención, la estación de electrólisis 24 se podría relacionar con las estaciones de extracción de amonio y de transferencia de amonio sobre la base de que la estación de electrólisis siempre puede convertir a gas nitrógeno todo el amonio capturado por las estaciones de extracción y transferencia. Por supuesto, el diseñador prudente proporcionará un margen de capacidad en exceso en cada estación, y/o proporcionará las estaciones como una pluralidad de módulos, que se pueden poner en funcionamiento o desconectar si se requiere.

50 El sistema alcalino-ácido se puede hacer funcionar de forma continua, y las válvulas no son necesarias para desviar el agua (al menos no para fines de funcionamiento). Por supuesto, el funcionamiento del sistema de intercambio iónico implica desviar regularmente la corriente de de agua residual lejos de la columna que contiene el medio de intercambio iónico saturado. Tal como se menciona, se prefiere mantener el agua de regeneración circulando a través de la columna al mismo tiempo que está circulando a través de la estación de electrólisis. Una razón por la que no se prefiere sólo una columna de intercambio iónico es que, sólo con una columna, la única columna se ha de poner de nuevo rápidamente en línea, para minimizar la interrupción de la corriente de agua residual entrante; y por supuesto después no es posible hacer circular el agua de regeneración a través de la columna.

Normalmente, y preferentemente, se dispondrá que exista una pluralidad de columnas (como en la figura 1), cada una en una relación de intercambio iónico con el cuerpo del agua de regeneración. La corriente de agua residual puede continuar después, cuando una columna se vuelva saturada, la corriente simplemente se enviará a través de una de las otras columnas. En caso de que la estación de electrólisis tenga que hacer frente al amonio de distintas columnas, el diseñador naturalmente debe procurar que la estación de electrólisis pueda descomponer el amonio en el cuerpo de agua de regeneración más rápido de lo que se alimenta el amonio en el cuerpo del agua de regeneración en agregados de distintas columnas.

En un caso en el que la corriente de agua residual no se va a interrumpir (en un sistema de tratamiento municipal, por ejemplo), preferentemente, se proporcionan tres columnas de intercambio iónico (o lechos). Tan solo se proporciona un cuerpo de agua de regeneración, y el sistema se puede ajustar para dirigir el cuerpo del agua de regeneración a través de cada una de las columnas de forma secuencial. Sólo se proporciona una estación de electrólisis. Durante la electrólisis, el cuerpo del agua de regeneración se hace circular preferentemente de forma continua a través de la apropiada de las columnas y a través de la estación de electrólisis.

Tal como se ha mencionado, la estación de electrólisis debe convertir el amonio disuelto en el agua secundaria en gas nitrógeno a una velocidad más rápida que la velocidad a la que se captura el amonio-N dentro del agua secundaria. Por tanto, la estación de electrólisis, en un caso típico, tendría que oxidar, por ejemplo, quince kg de nitrógeno por día. En ese caso, se necesitaría una corriente de la región de 3500 amperios, con un voltaje de funcionamiento deseado de menos de cuatro voltios. Una estación de electrólisis que puede tratar esa cantidad de nitrógeno tendría que funcionar normalmente a una densidad de corriente de entre 300 y 1000 amperios por metro cuadrado del ánodo.

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato para disminuir la concentración de amonio en agua residual, y para retirar el amonio como gas nitrógeno, en el que:  
el aparato incluye una estación de extracción de amonio, que:
  - 5 - incluye un puerto de entrada de agua residual, para recibir una corriente de agua residual que se va a tratar;
  - se puede hacer funcionar para extraer amonio de la solución de la corriente de agua residual;
  - incluye un puerto de descarga de agua tratada, para descargar la corriente de agua residual, ahora con su contenido en amonio disuelto reducido, del aparato;el aparato incluye un cuerpo de agua secundaria;
- 10 el aparato incluye un circuito de agua secundaria, que comprende componentes contaminantes de agua, que contienen el cuerpo de agua secundaria;  
el aparato está configurado de manera que la corriente de agua residual que se va a tratar pase a través del aparato, y se descargue, sin tocar el cuerpo de agua secundaria;
- 15 el aparato incluye una estación de transferencia de amonio, que es uno de los componentes contaminantes de agua del circuito de agua secundaria, y que se puede hacer funcionar para recibir el amonio extraído de la estación de extracción de amonio y para transferir el mismo al cuerpo del agua secundaria;  
el aparato incluye una estación de electrólisis;  
la estación de electrólisis incluye una celda electrolítica, que se puede hacer funcionar tras suministrarle energía eléctrica;
- 20 - para electrolizar el agua secundaria, y para oxidar el amonio disuelto en él;
- para favorecer termodinámicamente la transformación del componente de nitrógeno del mismo en gas nitrógeno;
- el aparato incluye un puerto de descarga de nitrógeno, para descargar el gas nitrógeno resultante de la estación de electrólisis;
- 25 el aparato incluye un depósito, que es uno de los componentes contaminantes de agua del circuito de agua secundaria;  
la estación de transferencia de amonio tiene una entrada de estación de amonio y una salida de estación de amonio, a través de las que el agua secundaria entra y sale respectivamente de la estación de transferencia de amonio;
- 30 la estación de electrólisis tiene una entrada de estación de electrólisis y una salida de estación de electrólisis, a través de las que el agua secundaria entra y sale de la estación de electrólisis;  
la estación de transferencia de amonio se configura de tal manera que el agua secundaria en la salida de la estación de amonio sea de una concentración de amonio disuelto mayor que el agua secundaria en la entrada de la estación de amonio;
- 35 la estación de electrólisis se configura de tal manera que el agua secundaria en la salida de la estación de electrólisis sea de una concentración de amonio disuelto menor que el agua secundaria en la entrada de la estación de electrólisis;  
el circuito de agua secundaria incluye conductos respectivos que transportan agua secundaria:
  - desde la salida de la estación de amonio al depósito;
  - 40 - desde el depósito a la entrada de la estación de amonio;
  - desde la salida de la estación de electrólisis al depósito; y
  - desde el depósito a la entrada de la estación de electrólisis.
2. Aparato de la reivindicación 1, en el que el aparato incluye un medio para agitar el agua secundaria que se encuentra en el depósito.
- 45 3. Aparato de la reivindicación 1, en el que dichos conductos respectivos que transportan el agua secundaria:

- desde la salida de la estación de amonio al depósito;
- desde el depósito a la entrada de la estación de amonio;
- desde la salida de la estación de electrólisis al depósito; y
- desde el depósito a la entrada de la estación de electrólisis;

5 son eficaces para transportar de este modo el agua secundaria.

4. Aparato de la reivindicación 1, en el que la corriente de agua residual que se va a tratar pasa a través del aparato, y se descarga, sin someterse a electrólisis.

5. Aparato de la reivindicación 1, en el que la estación de extracción de amonio y la estación de transferencia de amonio comprenden una estación de intercambio iónico, y en el que:

10 la estación de intercambio iónico incluye un recipiente absorbente, en el que está contenido un cuerpo absorbente, que es eficaz para absorber el amonio del agua que pasa a través de él;

15 el agua secundaria comprende agua de regeneración, siendo agua que contiene, en solución, una sustancia de regeneración, que es de tal naturaleza y, de tal concentración, como para tener una relación de intercambio iónico con respecto a los iones de amonio absorbidos sobre el cuerpo absorbente, y en el que el agua secundaria preferentemente es salmuera;

la estación de intercambio iónico incluye conductos de conexión y válvulas de control de flujo de funcionamiento en la misma;

las válvulas se pueden hacer funcionar para fijar la estación de intercambio iónico en modo de absorción y se pueden hacer funcionar para fijar la estación de intercambio iónico en modo de regeneración;

20 en el modo de absorción, las válvulas y conductos se disponen de modo que el agua residual pase desde el puerto de entrada de agua residual, a través del recipiente absorbente, y fuera del puerto de descarga de agua tratada; y

25 en el modo de regeneración, las válvulas y conductos se incluyen en el circuito de agua secundaria, en el que el agua de regeneración, que ha pasado a través del recipiente absorbente, pasa entonces a través de la celda electrolítica.

6. Aparato de la reivindicación 5, en el que el circuito de agua secundaria se puede hacer funcionar para recircular el agua de regeneración a través del recipiente absorbente y la celda electrolítica.

7. Aparato de la reivindicación 1, en el que la estación de extracción de amonio y la estación de transferencia de amonio comprenden una estación de alcalino-ácido, y en el que:

30 el cuerpo del agua secundaria comprende un cuerpo de ácido-agua, y en el que el agua secundaria preferentemente es, o incluye, ácido clorhídrico;

la estación de alcalino-ácido incluye:

- un medio para elevar el pH de agua residual cargada de amonio que entra en el puerto de entrada de agua residual hasta al menos diez;

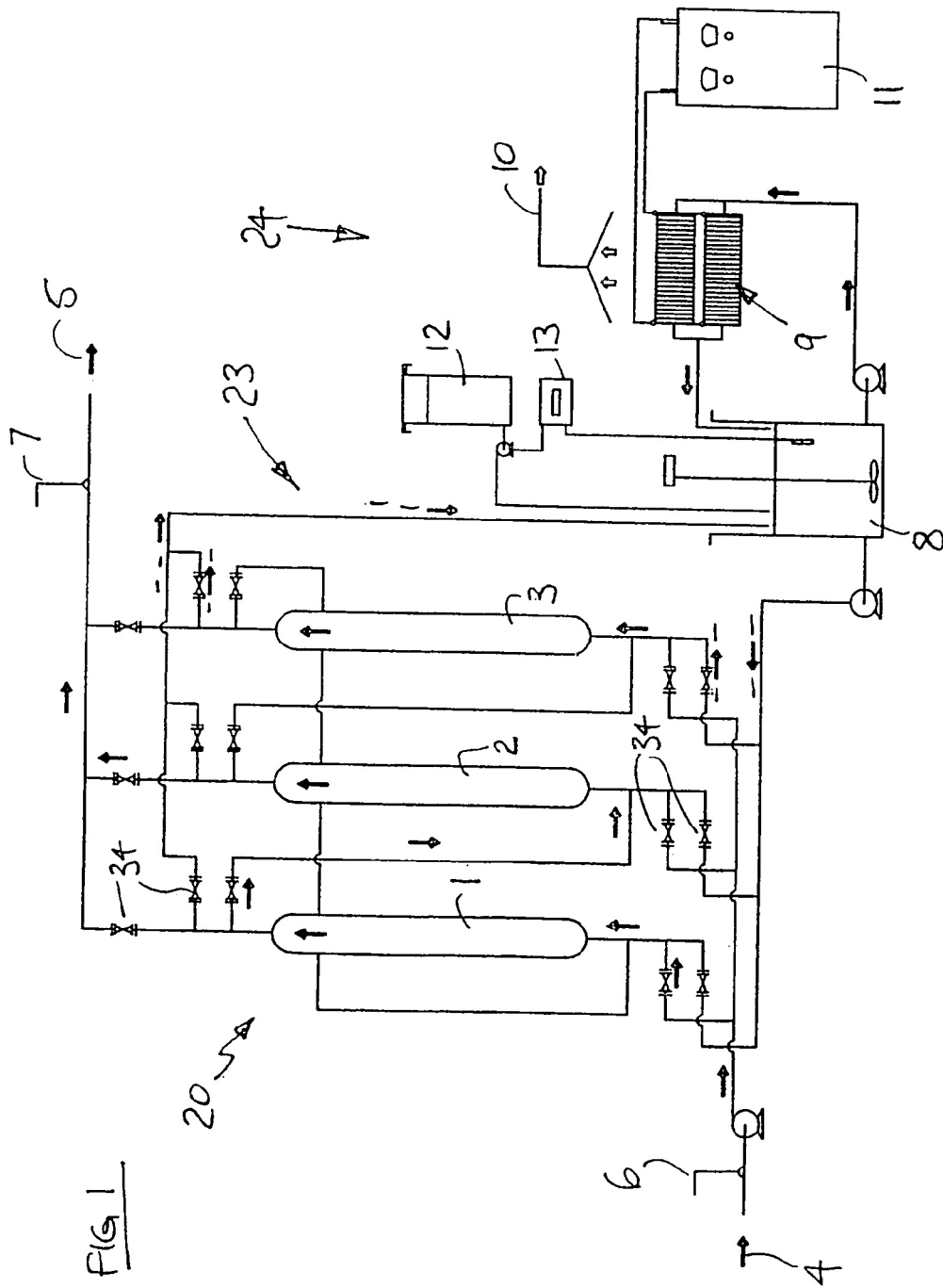
35 - una estación de alcalino, que comprende un conducto de agua residual que contiene el agua residual alcalina y un conducto de gas, y la estación de alcalino se estructura de modo que el gas de amoníaco que emana del agua residual alcalina en el conducto de agua residual se captura y se lleva en el conducto de gas;

- un medio para mantener el pH del ácido-agua en no más de cuatro;

40 - una estación de ácido, que incluye el conducto de gas y un conducto de ácido-agua que contiene el ácido-agua, y la estación de ácido está estructurada de modo que el gas de amoníaco contenido en el conducto de gas se lleva a solución en el ácido-agua en el conducto de ácido-agua;

y el circuito de agua secundaria incluye el conducto de ácido-agua, en el que el ácido-agua, que ha pasado a través de la estación de ácido, pasa entonces a través de la celda electrolítica.

45 8. Aparato de la reivindicación 7, en el que el circuito de agua secundaria se puede hacer funcionar para recircular el ácido-agua a través de la estación de ácido y la celda electrolítica.



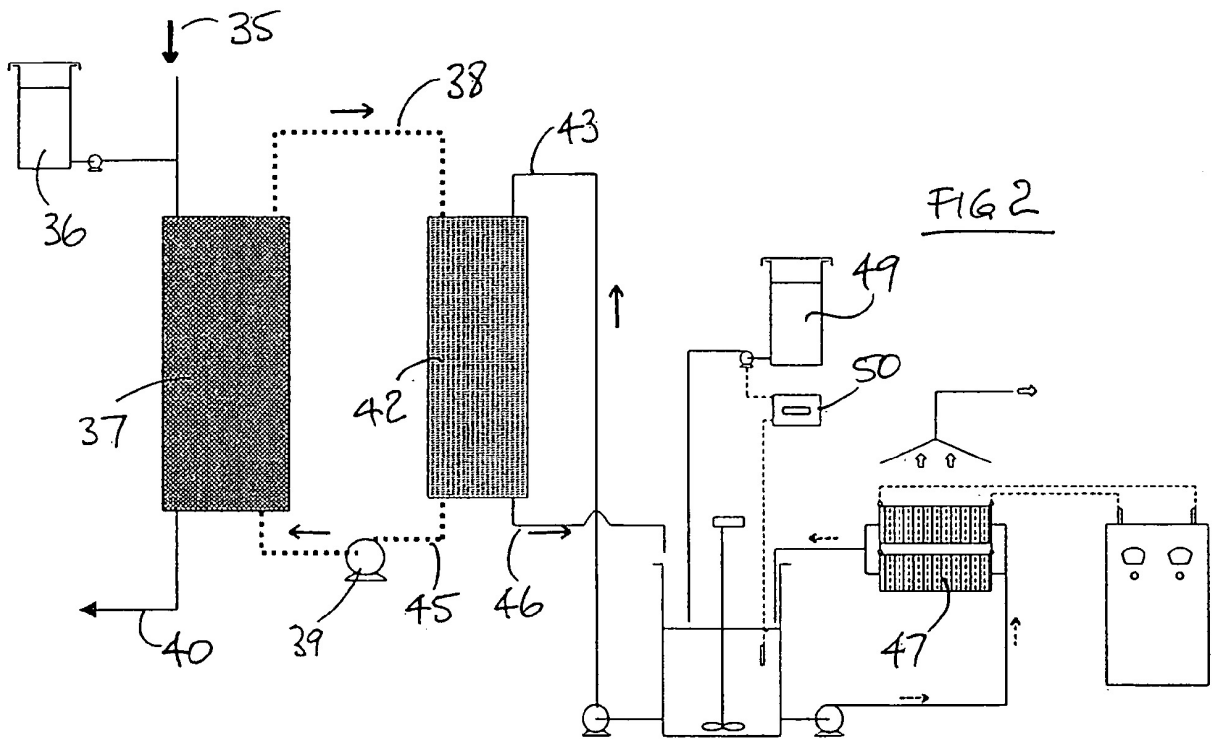
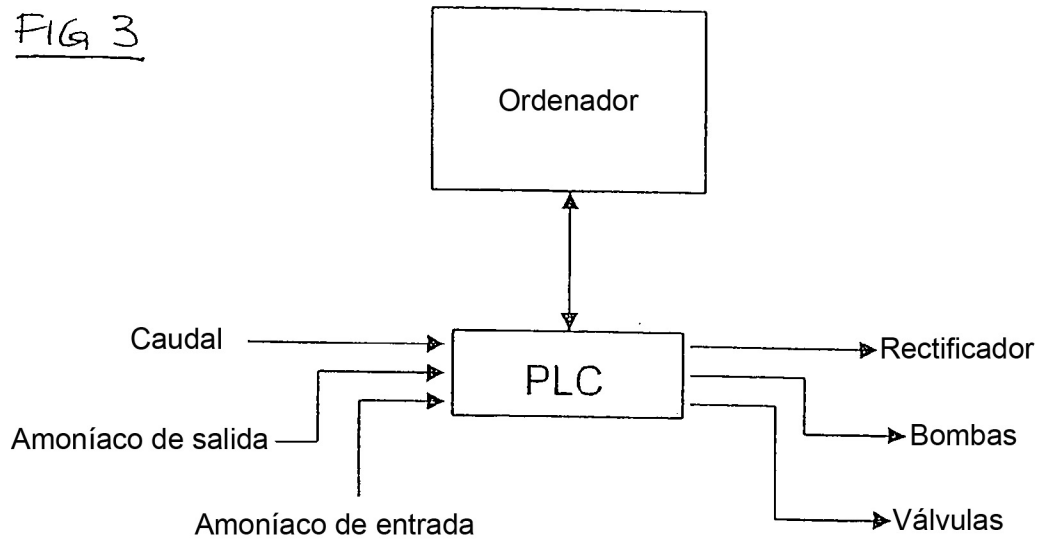


FIG 2

FIG 3



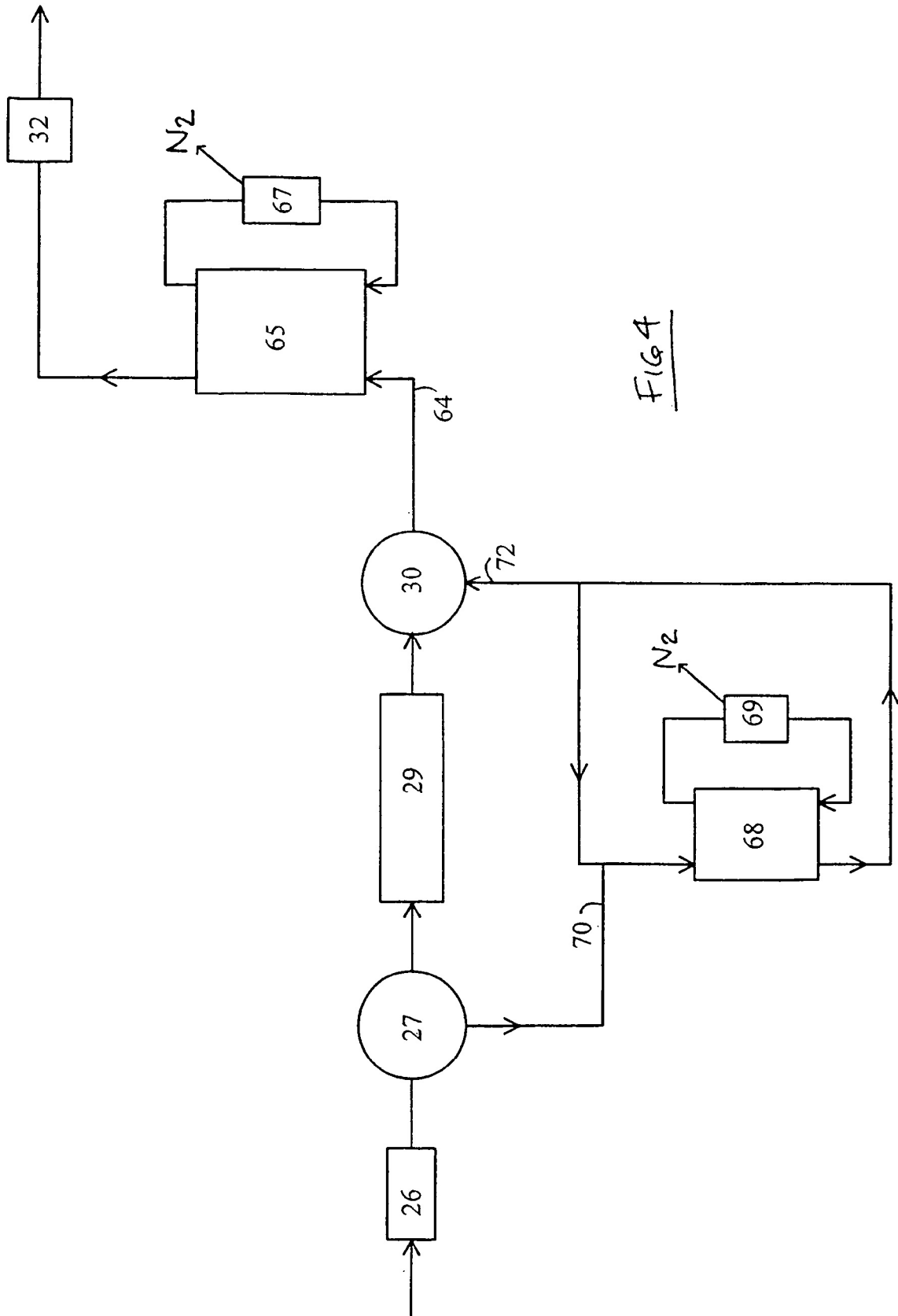


Fig 4