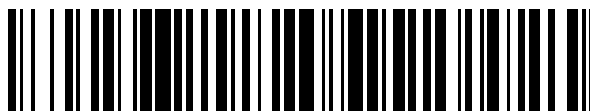


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 444 870**

51 Int. Cl.:

**C02F 9/04** (2006.01)

**C02F 9/08** (2006.01)

**C02F 101/16** (2006.01)

**C02F 1/20** (2006.01)

**B01D 53/58** (2006.01)

**C02F 1/42** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.07.2006 E 06788976 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2013 EP 1924531**

54 Título: **Separación de amonio/amoníaco de una corriente**

30 Prioridad:

**11.08.2005 US 203035**

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

**27.02.2014**

73 Titular/es:

**THERMOENERGY CORPORATION (100.0%)  
10 New Bond Street  
Worcester, MA 01606, US**

72 Inventor/es:

**KEMP, PHILIP MASON;  
SIMON, MARK MATTHEW y  
BROWN, STEPHEN HOWARD**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 444 870 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

Separación de amonio/amoniaco de una corriente

## 5 ANTECEDENTES

Esta descripción se refiere generalmente a un proceso de separación/recuperación de amonio/amoniaco y, en especial, se refiere a la separación/recuperación de amonio/amoniaco con supresión de la formación de estruvita y/o supresión de la precipitación de sales escasamente solubles.

10 El agua residual y/o agua del proceso contiene a menudo grandes cantidades de amonio ( $\text{NH}_4$ ) que no puede ser liberado al medio ambiente. El aumento del pH para formar amoniaco gaseoso ( $\text{NH}_3$ ) puede dar como resultado la precipitación de estruvita y/o la precipitación de otras sales escasamente solubles. La estruvita es, esencialmente, magnesio soluble que se combina con amoniaco y fosfato para formar fosfato de amonio y magnesio  
15 ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), una forma común de estruvita. La estruvita es un sólido duro y tenaz que forma escamas adhiriéndose a las superficies de las tuberías y válvulas, formando depósitos de productos de corrosión. La estruvita es extremadamente difícil de eliminar de las superficies del equipo tales como empalmes, tuberías y válvulas. Generalmente, se encuentra en tuberías de aguas residuales y en procesos aguas abajo después de un  
20 tratamiento biológico. Los depósitos tienden a formarse en tuberías en donde las aguas residuales se estancan entre flujos intermitentes, pero también en zonas en donde existe un flujo turbulento, cambio de presión o en los casos en que puedan producirse cavitaciones. La deposición de estruvita se produce, con la mayor frecuencia, en tuberías, codos de tuberías, válvulas, rebosaderos de centrifugas, bombas, etc.

25 La deposición de estruvita se está convirtiendo en un problema de creciente difusión para un gran número de plantas de tratamiento de aguas residuales. En casos extremos, la estruvita puede reducir el rendimiento de una manera tan significativa que haya de paralizarse el funcionamiento de la planta con el fin de que sea limpiado el conjunto de tuberías bloqueado y otros equipos.

30 Se han realizado diversas propuestas con el fin de resolver este problema, muchas de ellas con un cierto grado de éxito, pero ninguna ha superado con éxito este problema por completo. Por ejemplo, ha habido sugerencias para evitar la formación de estruvita separando químicamente amoniaco y fosfato mediante la adición de magnesio para elevar el pH. Otra propuesta ha sido añadir sales férricas y polímero aniónico. Sin embargo, la adición de cantidades grandes de este tipo de sal férrica podría tener un efecto perjudicial sobre el equipo de la planta.

35 Además de la formación de estruvita a pH elevado, sales escasamente solubles pueden precipitar con un cambio del pH. Un cierto número de sales escasamente solubles precipitará y provocará la obstrucción y el fallo del equipo del proceso. Sales escasamente solubles de  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SrSO}_4$  y  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  son algunos ejemplos de sales que tienen una baja solubilidad y que pueden precipitar.

40 Debido a los efectos de la liberación de grandes cantidades de nitrógeno en una corriente de aguas residuales limpia, rigurosos requisitos del efluente dictaminan una baja liberación de amoniaco/amoniaco, a menudo una liberación total de nitrógeno menor que 100 miligramos por litro (mg/L), requiriéndose a veces una cantidad tan pequeña como menos de 3 mg/L por parte de las Autoridades reguladoras. Por lo tanto, continúa existiendo la  
45 necesidad de procesos de separación de amonio/amoniaco que eviten la formación de estruvita y/o la precipitación de sales escasamente solubles.

El documento WO 2004/035479 A describe un método y una planta para la separación de amonio a partir de una corriente líquida, que comprende las siguientes etapas secuenciales:

- 50 a) una etapa para la separación de cationes multivalentes por medio de intercambiadores de iones;  
b) una etapa para la conversión de amonio en amoniaco aumentando el pH;  
c) una etapa para separar gas amoniaco de la corriente de líquido.

## BREVE SUMARIO

55 En esta memoria se describen métodos y sistemas para la separación de amonio a partir de una corriente.

En una realización, un método de separación de amonio puede comprender: separar un catión multivalente de una corriente que comprende amonio para formar una corriente tratada; convertir el amonio en la corriente en

amoníaco aumentando el pH de la corriente; y separar el amoníaco de la corriente tratada para formar una corriente separada y amoníaco y gaseoso, en donde la etapa de separar el amoníaco de la corriente tratada comprende introducir la corriente en una torre de separación instantánea asistida por vacío, en que la corriente se hace circular mediante una bomba a través de una boquilla de atomización.

5 En otra realización, un método de separación de amonio puede comprender: separar un catión multivalente de una corriente que comprende amonio para formar una corriente tratada que comprende un total menor que o igual a aproximadamente 50 ppm en peso de cationes multivalentes; aumentar el pH de la corriente hasta un pH de conversión; convertir el amonio en amoníaco; y separar el amoníaco de la corriente tratada para formar una corriente separada y amoníaco y gaseoso, en donde la etapa de separar el amoníaco de la corriente tratada comprende introducir la corriente en una torre de separación instantánea asistida por vacío, en que la corriente se hace circular mediante una bomba a través de una boquilla de atomización.

10 Todavía en otra realización de acuerdo con la reivindicación 1, un método de separación de amonio puede comprender: separar sólidos de una corriente que comprende amonio; poner en contacto la corriente con un depurador de metales de intercambio de iones para separar de la corriente un catión multivalente para formar una corriente tratada; aumentar el pH de la corriente tratada a más que o igual a aproximadamente 9,0; convertir el amonio en amoníaco; separar por arrastre el amoníaco de la corriente tratada para formar una corriente separada y una corriente de amoníaco; y reducir el pH de la corriente de amoníaco.

15 En una realización, un sistema de separación de amonio puede comprender: un tanque de separación de sólidos; un separador de cationes multivalente dispuesto aguas abajo del tanque de separación de sólidos y capaz de separar un catión multivalente de una corriente para formar una corriente tratada; una fuente base capaz de aumentar suficientemente el pH de la corriente tratada para convertir en amoníaco más que o igual a aproximadamente 50% en peso de amonio en la corriente; un tanque de separación de amoníaco, capaz de separar el amoníaco de la corriente tratada; y un dispositivo de recuperación de amoníaco, en donde el tanque de separación de amoníaco es una torre de separación instantánea asistida por vacío que utiliza una bomba para hacer circular la corriente a través de una boquilla de atomización.

20 Las características antes descritas y otras se ilustran mediante la siguiente descripción detallada.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

25 Se describe en esta memoria un procedimiento para separar nitrógeno (p. ej., amonio y/o amoníaco) de una corriente al tiempo que se inhibe la formación de estruvita o la precipitación de sales escasamente solubles. El método comprende separar cationes multivalentes (p. ej. cationes multivalentes) de la corriente de líquido antes de aumentar el pH de la corriente con el fin de formar amoníaco gaseoso ( $\text{NH}_3$ ), el cual es separado de la corriente, y luego, opcionalmente, convertirlo de nuevo en amonio ( $\text{NH}_4$ ), al tiempo que, opcionalmente, la corriente puede ser procesada adicionalmente.

30 La corriente, por ejemplo, puede ser una corriente de agua residual (p. ej., municipal y/o industrial), una corriente del proceso, o similar, que puede ser tratada y liberada al medio ambiente y/o utilizada p. ej., en una caldera, una torre de refrigeración y similar. Dependiendo de la corriente y de su contenido, puede ser deseable la separación de sólidos en suspensión iniciales. Esta reducción en sólidos iniciales se puede conseguir, opcionalmente, a través de flotación por aire disuelto (DAF – siglas en inglés) y/u otro proceso. No estando ligados por la teoría, la DAF es un proceso para la separación de material en suspensión a partir de una suspensión acuosa, en donde el término “flotación” indica algo que flota sobre o en la superficie de un líquido. La DAF utiliza burbujas de aire que quedan fijadas al material suspendido a separar. La atracción entre las burbujas de aire y las partículas, que resulta de diferencias de energía libre estándar, que son una función de las características de la superficie de las partículas y las microburbujas, o el atrapamiento físico (enmarañamiento) en la matriz de partículas, reduce la densidad relativa de las partículas, dando como resultado una flotabilidad incrementada, potenciando así la flotación. Puede utilizarse un acondicionamiento químico para aumentar la eficacia del proceso de flotación por aire disuelto.

35 Después de la separación de sólidos iniciales, la corriente puede ser opcionalmente filtrada. La cantidad y el tipo de filtros empleados depende de los tipos y de la concentración del o de los sólidos que permanecen en la corriente, así como de la concentración en sólidos suspendidos totales (TSS – siglas en inglés) final deseada de la corriente. Por ejemplo, la corriente se puede tratar con un filtro o filtros de re-extracción (p. ej., filtro o filtros de re-extracción continua), filtro o filtros multi-media, filtro o filtros de cartucho, y similares, así como combinaciones que

comprenden al menos uno de los filtros anteriores. El proceso de filtración se puede emplear para separar los sólidos suspendidos totales (TSS) hasta un nivel deseado, p. ej., menor que o igual a aproximadamente 50 partes por millón (ppm) en peso o, más específicamente, menor que o igual a aproximadamente 25 ppm, o incluso más específicamente, menor que o igual a aproximadamente 3 ppm.

5 Dependiendo de la composición de la corriente, una vez filtrada, la corriente puede ser tratada para inhibir el crecimiento bacteriológico. Por ejemplo, la corriente puede ser tratada químicamente (p. ej., cloración, ozonación, peroxidación y similares) y/o puede ser tratada con radiación ultravioleta (UV) para destruir las bacterias y reducir el crecimiento bacteriológico y la contaminación de procesos aguas abajo.

10 Antes, y/o después de los procesos anteriores, la corriente se trata para separar un catión o cationes multivalentes (p. ej. iones de magnesio (Mg), calcio (Ca), bario (Ba), estroncio (Sr), manganeso (Mn), hierro (Fe), metales de transición, y similares, así como combinaciones que comprenden al menos uno de los que anteceden). Se pueden emplear diversos procesos de separación, capaces de separar una cantidad suficiente de estos cationes multivalentes para inhibir y, preferiblemente, evitar la formación de estruvita y/o la precipitación de las sales escasamente solubles durante la separación de amonio. Por ejemplo, la corriente puede contactar con un depurador de metales de intercambio de iones tal como una resina quelante, ácido fuerte, resina de ácido débil, una resina suavizante, y similares, así como combinaciones que comprenden al menos uno de los anteriores, que depura uno o más de los cationes multivalentes. Depuradores de intercambio de iones posibles incluyen, por ejemplo, resina quelante iminodiacetato-funcional, y similar. Otros separadores de cationes multivalentes posibles incluyen un ablandador de la cal (p. ej., ablandador de la cal en frío, ablandador de la cal en caliente, y similares); clarificador de la precipitación; microfiltro; ablandador del agua; intercambio de cationes ácidos (p. ej., intercambio de cationes ácidos débiles, intercambio de cationes ácidos fuertes, y similares); flotación por aire (p. ej., flotación por aire disuelto (DAF); flotación por aire inducida (IAF – siglas en inglés), y similares); ablandador de cal en caliente; y similares, así como combinaciones que comprenden al menos uno de los anteriores.

20 Dependiendo del depurador o dispositivo de separación de metales empleado, una vez saturado, puede ser reemplazado, regenerado, o los materiales precipitados pueden ser separados. La regeneración del depurador o ablandador, por ejemplo, se puede conseguir con cloruro de sodio (NaCl), ácido mineral o similar. Sin embargo, si se utiliza un ácido mineral, puede ser deseable acondicionar de nuevo el depurador con una base (p. ej., hidróxido de sodio (NaOH)) para el control del pH. Adicionalmente, si la corriente comprende hierro, puede ser deseable la eliminación de incrustaciones, ya que el hierro puede ensuciar a la resina de intercambio de iones ablandadora. La eliminación de la suciedad puede comprender un tratamiento tal como un tratamiento con cloruro de hidrógeno (HCl) y/o químicas con sulfuros.

30 Es deseable separar los cationes multivalentes hasta un nivel, por catión multivalente, menor que o igual a aproximadamente 3 ppm en peso o, más específicamente, menor que o igual a aproximadamente 1 ppm en peso, o incluso más específicamente, menor que o igual a aproximadamente 0,5 ppm en peso. Es más deseable separar los cationes multivalentes totales en la corriente hasta un nivel total (p. ej., de todos los cationes multivalentes en la corriente) menor que o igual a aproximadamente 3 ppm en peso, o más específicamente menor que o igual a aproximadamente 1 ppm en peso, o incluso más específicamente, menor que o igual a aproximadamente 0,5 ppm en peso. La cantidad específica de separación deseada depende del catión multivalente particular, así como del pH que se empleará en el subsiguiente tratamiento de la corriente. De manera deseable, los cationes multivalentes se separan hasta un nivel que no precipitará a los pHs empleados en el procesamiento de la corriente (es decir, precipitarán en una cantidad menor que o igual a 1 ppm).

40 Una vez que los cationes multivalentes (o, particularmente, los Ca, Mg, Sr, Ba, Fe, Mn y cualesquiera metales de transición remanentes, o incluso más particularmente el Ca y Mg) han sido separados de la corriente, ésta se puede procesar para la conversión de  $\text{NH}_4$ . La conversión de  $\text{NH}_4$  puede comprender aumentar el pH de la corriente, p. ej., aumentar suficientemente el pH de la corriente para convertir en amoníaco más de o igual a aproximadamente 50 por ciento en peso (% en peso) del amonio en la corriente o, más específicamente, para convertir en amoníaco más de o igual a aproximadamente 70% en peso del amonio. Por ejemplo, la corriente se introduce en un tanque (p. ej., un tanque de reacción sellado/estanco al aire) y se pone en contacto con una base débil o fuerte (p. ej., hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH) y similares, así como combinaciones que comprenden al menos uno de las anteriores). Alternativamente, o además, la base se introduce directamente en una unidad de separación de amoníaco (p. ej., una torre de separación instantánea tal como una torre de separación instantánea asistida por vacío).

El nivel de pH deseado se basa en la reducción de amonio deseada (p. ej., el porcentaje de conversión de  $\text{NH}_4$  deseado), la temperatura del fluido y la presión del sistema. A pesar de que a temperatura y presión ambientes (p. ej., aproximadamente  $25^\circ\text{C}$  y aproximadamente 1 atmósfera (atm)), se puede emplear un pH mayor que o igual a aproximadamente 9,9 para una conversión de  $\text{NH}_4$  en  $\text{NH}_3$  de aproximadamente 80% en peso, se puede emplear un pH de aproximadamente 10,5 a aproximadamente 11 para la conversión adicional de  $\text{NH}_4$ . Se podría utilizar un pH menor a una temperatura más elevada y/o una presión más baja, p. ej. mayor que o igual a un pH de aproximadamente 9. Para una conversión de  $\text{NH}_4$  mayor que o igual a aproximadamente 98% en peso, se puede emplear un pH mayor que o igual a aproximadamente pH 12, en donde los porcentajes en peso anteriores se basan en un peso total de  $\text{NH}_4$  en la corriente. A estos pHs, el  $\text{NH}_4$  se convierte en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) (p. ej., amoníaco gaseoso no ionizado).

Una vez que el  $\text{NH}_4$  se ha convertido en  $\text{NH}_3$ , el  $\text{NH}_3$  se puede separar de la corriente utilizando diversas técnicas tales como una torre de separación de gas, una torre de separación instantánea asistida por vacío (p. ej., CASTion R-CAST, comercialmente disponible de CASTion, Worcester, Massachusetts). Esta torre de separación instantánea asistida por vacío reproduce una tecnología del deflector patentada. La tecnología del deflector y otros aspectos de la tecnología CAST inversa se describen en las patentes de EE.UU. N°s 4.770.748 y 4.880.504. La tecnología del deflector en unión con los controles de temperatura y vacío, minimizan el transporte de vapor de agua con el gas amoníaco. Esta técnica minimiza la dilución del producto de amonio y aumenta la pureza cuando el gas contacta con la disolución de carácter ácido utilizada para capturar el  $\text{NH}_3$  liberado por el dispositivo de arrastre de gas.

Por ejemplo, la corriente de  $\text{NH}_3$  se puede dirigir a una torre de separación instantánea asistida por vacío, en donde se separa el  $\text{NH}_3$  (p. ej. de forma instantánea/por arrastre) de la corriente ajustada en pH que está virtualmente exenta de cationes multivalentes. La torre, por ejemplo, puede utilizar una bomba para hacer circular la corriente a través de una boquilla de atomización. La boquilla de atomización disgrega el agua en pequeñas gotitas, de modo que el gas  $\text{NH}_3$  es separado de las gotitas (p. ej., bajo vacío). El desplazamiento de temperatura, pH y/o presión determina que el gas amoníaco abandone la corriente. La torre de separación instantánea asistida por vacío incorpora controles que permiten al operario controlar la temperatura, el pH y el vacío en el sistema. Es de señalar que temperaturas elevadas aumentan la volatilidad del gas  $\text{NH}_3$  y mejoran su eficacia de separación. Algunas aplicaciones ajustan la temperatura del líquido de alimentación. Sin embargo, esto es menos deseable que ajustar la presión y/o el pH, debido a su elevado coste energético. El aumentar el pH o el vacío aplicado al líquido de alimentación, desplaza el equilibrio químico hacia la formación de gas amoníaco ( $\text{NH}_4$  a  $\text{NH}_3$ ) y mejora la eficacia de separación global del  $\text{NH}_3$  por parte del proceso.

El gas  $\text{NH}_3$  puede ser separado, por ejemplo, de la torre de separación instantánea asistida por vacío con el uso de un venturi que crea un vacío en la torre de separación. El venturi asociado con la torre puede proporcionar un vacío casi completo en la torre, permitiendo así una separación rápida y casi completa del gas  $\text{NH}_3$  del líquido. Durante el funcionamiento, por ejemplo, el lado de succión del venturi extrae el gas amoníaco al venturi en donde se convierte de nuevo en  $\text{NH}_4$  cuando entra en contacto con el agua que circula que contiene un ácido tal como ácido sulfúrico, nítrico, clorhídrico, fosfórico y/u otro ácido. En el caso de ácido sulfúrico, la reacción crea  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (sulfato de amonio); un producto vendible que puede ser utilizado en la industria de los fertilizantes o en otros sectores como materia prima. La pureza del sulfato de amonio es elevada debido al paso mínimo de compuestos orgánicos volátiles (VOCs – siglas en inglés) que, por ejemplo, se separan principalmente en el proceso biológico, aguas arriba de las centrifugas municipales en el caso de una central municipal.

El  $\text{NH}_3$  gaseoso, por ejemplo, se puede recoger y almacenar y/o se puede convertir de nuevo en  $\text{NH}_4$ . El  $\text{NH}_3$  se puede convertir introduciendo el gas en una corriente de carácter ácido en circulación tal como ácido sulfúrico. La corriente de carácter ácido (corriente de agua que contiene un ácido) se puede bombear desde un tanque (p. ej., un simple tanque atmosférico) y se puede dirigir al venturi en donde los gases se retiran del recipiente de reacción bajo vacío hacia el lado de succión del venturi, y se mezclan directamente con la corriente ácida. Por ejemplo, la corriente de carácter ácido se hace circular de un forma en bucle cerrado, de modo que acumula una concentración de  $\text{NH}_4$  con una dilución despreciable. Cuando la corriente de carácter ácido se satura con el  $\text{NH}_4$  (o cuando se ha producido una cantidad suficiente de compuesto amonio), la disolución (p. ej., disolución de sulfato de amonio) se separa (p. ej., descarga) sobre una base discontinua, y el proceso continúa con ácido y agua de reciente aportación. La conversión del  $\text{NH}_3$  de nuevo en  $\text{NH}_4$  se consigue a medida que el gas fluye hacia la corriente de carácter ácido; reduciendo con ello el pH. La reducción del pH puede hacerse, por ejemplo, hasta un pH menor que o igual a aproximadamente 5, o más específicamente a un pH de aproximadamente 3,5 a aproximadamente 4,5.

Al pH reducido, el  $\text{NH}_3$  reacciona con el ácido (p. ej., ácido sulfúrico) para formar un compuesto de amonio (p. ej., sulfato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). El pH de la corriente de ácido recirculada aumentará naturalmente a medida que se acumula con el gas amoníaco, reduciendo con ello la cantidad de base para la neutralización del sulfato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . El sulfato de amonio, que tiene una elevada pureza, se puede emplear en diversas aplicaciones, p. ej. se puede vender como fertilizante o materia prima para otros usos.

La corriente de líquido remanente (la corriente de amoníaco reducido) puede procesarse opcionalmente de manera adicional. Por ejemplo, el pH de la corriente puede ajustarse para cumplir los parámetros de descarga (para permitir la liberación de la corriente al medio ambiente) y/o para permitir un uso ulterior de la corriente (p. ej., torres de refrigeración, alimentación a la caldera y similares), así como combinaciones que comprenden al menos uno de los anteriores.

El presente procedimiento permite la separación de amonio a partir de una corriente (corriente acuosa, semi-acuosa o no acuosa) a un pH elevado sin los problemas de formación de estruvita y/o precipitación de otras sales escasamente solubles. El ajuste de la temperatura y/o presión puede reducir el consumo de base. Una elevada conversión de  $\text{NH}_4$  y los subsiguientes niveles de separación (p. ej., mayor que o igual a aproximadamente 90% en peso) se pueden conseguir a valores de pH elevados (p. ej., mayores que o iguales a aproximadamente 9) debido a la separación previa del Mg y de otros cationes multivalentes de la corriente que, de otro modo hubieran dado como resultado la precipitación y un comportamiento del equipo inhibido debido al ensuciamiento. A estos elevados niveles de pH, se pueden formar precipitados tales como estruvita y carbonato de calcio si están presentes Mg y Ca, respectivamente.

El presente sistema puede emplear un simple ablandador del agua para separar los cationes multivalentes (p. ej., un ablandador que utilice solamente cloruro de sodio  $(\text{NaCl})$  para la regeneración, proporcionando con ello un modo económico de inhibir la formación de estruvita y la precipitación de sales escasamente solubles.

Es de señalar que los términos “primero”, “segundo” y similares en esta memoria no designan cantidad, orden, o importancia alguna, sino más bien se utilizan para distinguir un elemento de otro, y los términos “un” y “una” en esta memoria no designan una limitación de cantidad, sino que más bien designan la presencia de al menos uno de los artículos referenciados. Adicionalmente, todos los intervalos descritos en esta memoria son inclusive y combinables (p. ej., los intervalos de “hasta 25% en peso, siendo deseado 5% en peso a 20% en peso” son inclusive de todos los puntos finales y todos los valores intermedios de los intervalos de “5% en peso a 25% en peso”, etc.). El modificador “aproximadamente” utilizado en relación con una cantidad es inclusive del valor establecido y tiene el significado dictaminado por el contexto (p. ej., incluye el grado de error asociado con la medición de la cantidad particular). La anotación “ $\pm 10\%$ ” significa que la medición indicada puede ser de una cantidad que es menos 10% a una cantidad que es más 10% del valor establecido.

Aun cuando la invención ha sido descrita con referencia a realizaciones ilustrativas, se comprenderá por parte de los expertos en la técnica que se pueden hacer diversos cambios, y que equivalentes pueden ser sustituidos por elementos de los mismos sin apartarse del alcance de la invención. Además, pueden hacerse muchas modificaciones para adaptar una situación o material particular a las enseñanzas de la invención, sin apartarse del alcance esencial de la misma. Por lo tanto, se pretende que la invención no quede limitada a la realización particular descrita como el mejor modo contemplado para llevar a cabo esta invención, sino que la invención incluirá todas las realizaciones que caigan dentro del alcance de las reivindicaciones anejas.

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un método de separación de amonio, que comprende:  
 5            separar un catión multivalente de una corriente que comprende amonio para formar una corriente tratada;  
               convertir el amonio en amoniaco en la corriente tratada aumentando el pH de la corriente; y  
               separar el amoniaco de la corriente tratada para formar una corriente separada y amoniaco y gaseoso,  
               en donde la etapa de separar el amoniaco de la corriente tratada comprende introducir la corriente en una  
 10            torre de separación instantánea asistida por vacío, en que la corriente se hace circular mediante una bomba a  
               través de una boquilla de atomización.
- 2.- El método de la reivindicación 1, que comprende, además, reducir el pH del amoniaco a un pH menor que o  
 igual a aproximadamente 5.
- 3.- El método de la reivindicación 1, que comprende, además, separar sólidos de la corriente acuosa antes de la  
 15            separación de los cationes multivalentes.
- 4.- El método de la reivindicación 1, en el que el catión multivalente comprende un ion de un metal seleccionado  
 del grupo que consiste en Ca, Ba, Sr, Fe, Mg, Mn, un metal de transición y combinaciones que comprenden al  
 20            menos uno de los metales anteriores.
- 5.- El método de la reivindicación 1, en el que el metal se selecciona del grupo que consiste en Ca, Mg, y  
 combinaciones que comprenden al menos uno de los metales anteriores.
- 6.- El método de la reivindicación 1, en el que la separación de un catión multivalente comprende, además, poner  
 25            en contacto la corriente con un depurador de metales de intercambio de iones.
- 7.- El método de la reivindicación 1, en el que más de o igual a aproximadamente 50% en peso del amonio en la  
 corriente se convierte en amoniaco.
- 8.- El método de la reivindicación 7, en el que más de o igual a aproximadamente 90% en peso del amonio en la  
 30            corriente se convierte en amoniaco.
- 9.- El método de la reivindicación 1, en el que cada uno de los cationes multivalentes en la corriente se separa a un  
 nivel menor que o igual a 25 ppm en peso.
- 35            10.- El método de la reivindicación 9, en el que cada uno de los cationes multivalentes en la corriente se separa a  
               un nivel menor que o igual a 3 ppm en peso.
- 11.- El método de la reivindicación 1, en el que la conversión se produce sin la formación de estruvita.
- 40            12.- El método de la reivindicación 1, en el que iones de Mg en la corriente se separan a un nivel menor que o igual  
               a 1 ppm en peso.
- 13.- El método de la reivindicación 1, que comprende, además, hacer reaccionar el amoniaco gaseoso con ácido  
 45            sulfúrico para formar sulfato de amonio.
- 14.- El método de la reivindicación 10, en el que el pH se aumenta sin la precipitación de una sal escasamente  
 soluble.
- 50            15.- El método de la reivindicación 1, que comprende, además:  
               separar sólidos de una corriente de que comprende amonio;  
               poner en contacto la corriente con un depurador de metales de intercambio de iones para separar un  
               catión multivalente de la corriente para formar una corriente tratada;  
               y  
 55            reducir el pH de la corriente de amonio;  
               en el que el aumento del pH de la corriente tratada comprende aumentar el pH a más de o igual a 9.
- 16.- El método de la reivindicación 15, en el que el depurador de metales de intercambio de iones comprende una

resina quelante iminodiacetato-funcional.

17.- Un sistema de separación de amonio, que comprende:

- 5 un tanque de separación de sólidos;  
un separador de cationes multivalente dispuesto aguas abajo del tanque de separación de sólidos y capaz de separar un catión multivalente de una corriente para formar una corriente tratada;  
una fuente base capaz de aumentar suficientemente el pH de la corriente tratada para convertir en amoníaco más de o igual a aproximadamente 50% en peso de amonio en la corriente;  
10 un tanque de separación de amoníaco, capaz de separar el amoníaco de la corriente tratada; y  
un dispositivo de recuperación de amoníaco,  
en donde el tanque de separación de amoníaco es una torre de separación instantánea asistida por vacío que utiliza una bomba para hacer circular la corriente a través de una boquilla de atomización.

- 15 18.- El sistema de la reivindicación 17, en el que el separador de cationes multivalentes se selecciona del grupo que consiste en un depurador de metales de intercambio de iones, clarificador de la precipitación, microfiltro, ablandador del agua, intercambio de cationes ácidos, flotación por aire, ablandador de cal y una combinación que comprende al menos uno de los separadores de cationes multivalentes anteriores.

19.- El sistema de la reivindicación 17, que comprende:

- 20 un depurador de metales de intercambio de iones dispuesto aguas abajo del tanque de separación de sólidos y capaz de separar un catión multivalente de una corriente para formar una corriente tratada; y  
un venturi dispuesto en comunicación de fluido con la torre de separación y en comunicación de fluido con una fuente de ácido sulfúrico,  
en donde la fuente base es capaz de aumentar suficientemente el pH de la corriente tratada para convertir  
25 más de o igual a aproximadamente el 80% de amonio en la corriente en amoníaco.