

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 387**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/42** (2006.01)

**C02F 9/00** (2006.01)

**C22B 3/42** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.12.2009 PCT/US2009/066543**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.06.2010 WO10065714**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.12.2009 E 09831103 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.03.2018 EP 2379452**

54 Título: **Sistema y método para el tratamiento de aguas residuales**

30 Prioridad:

**03.12.2008 US 119567 P**

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

**29.06.2018**

73 Titular/es:

**HYDROIONIC TECHNOLOGIES CO. LTD. (100.0%)  
189 Section 2 Keelung Rd. 16f, Suite 5  
Taipei 11054, TW**

72 Inventor/es:

**BAUDER, RAINER y  
YEH, RICHARD, HSU**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 674 387 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

Sistema y método para el tratamiento de aguas residuales

Solicitudes relacionadas

- 5 Esta solicitud reivindica la prioridad de la siguiente solicitud, que está incorporada en la presente memoria por referencia: Solicitud provisional de EE.UU. n°: 61/119.567; presentada el 3 de diciembre de 2008, titulada "Tratamiento de aguas residuales que contienen metales basado en intercambio iónico y por lo tanto sistema de reciclaje".

### Campo Técnico

- 10 Esta descripción generalmente se refiere al campo del tratamiento de aguas residuales industriales de residuos que contienen metales. Más específicamente, la presente descripción se refiere al equipo, procedimientos operativos, procesos químicos y procesos físicos empleados para eliminar contaminantes regulados y no regulados de las aguas residuales industriales.

### Antecedentes

- 15 Muchos procesos de fabricación industrial generan aguas residuales que contienen metales y otros contaminantes; tanto orgánicos como inorgánicos. Debido a su toxicidad intrínseca, las autoridades reguladoras establecen límites estrictos a la concentración máxima de determinados metales que pueden descargarse legalmente al entorno. Para cumplir con estas normas, las fábricas emplean procesos de tratamiento de aguas residuales para eliminar las sustancias reguladas de las aguas residuales. Los dos métodos principales de tratamiento de aguas residuales son la precipitación química y el intercambio iónico.

- 20 La precipitación química es el método más comúnmente utilizado en la actualidad para eliminar los metales (iónicos) disueltos de las aguas residuales. La precipitación química generalmente requiere operaciones de proceso de neutralización, precipitación, coagulación, floculación, sedimentación, sedimentación/filtración y deshidratación. Utiliza una serie de depósitos en los que se agregan coagulantes, precipitantes y otros productos químicos tales como polímeros, sulfato ferroso, hidróxido de sodio, cal y policloruro de aluminio para convertir los metales en una forma insoluble. Junto con el ajuste del pH de las aguas residuales, esto hace que los metales precipiten en el agua. Usando un depósito de clarificación, los precipitados sedimentan, y entonces se recogen en forma de lodo; la filtración también se puede usar para eliminar los sólidos. El exceso de agua en el lodo se elimina usando filtros prensa y/o secadores. El lodo, que a su vez es un residuo peligroso regulado, se envía al exterior donde se estabiliza mezclándolo con cemento o polímeros, y luego se entierra en un vertedero de material peligroso. De esta manera, las concentraciones de los metales regulados en las aguas residuales se reducen a una concentración que cumple con los límites reglamentarios, lo que permite descargar el agua de la instalación. Sin embargo, la necesidad de manipular, transportar y eliminar los lodos peligrosos resultantes es uno de los problemas más costosos, laboriosos, exigente de recursos y difíciles con precipitación química como tratamiento de aguas residuales.

- 35 El inconveniente intrínseco de la precipitación química es que es un proceso activo y aditivo y, como tal, requiere que se agreguen productos químicos a las aguas residuales para eliminar los metales regulados. El efecto secundario de esto es un aumento en las concentraciones de muchas otras sustancias, así como un deterioro en las características tales como la demanda química de oxígeno (DQO) y la conductividad; por lo tanto, requiere tratamientos adicionales y hace que el agua sea inadecuada o antieconómica para el reciclaje y la reutilización. Además, los metales eliminados no solo son irrecuperables, sino que se convierten en un material peligroso regulado que requiere una eliminación especializada. Como proceso aditivo, la precipitación química también aumenta, en órdenes de magnitud, la masa de material residual que necesita ser manipulado, transportado y depositado.

- 45 Como proceso activo, la eficacia de la precipitación química se basa en los procedimientos operativos adecuados y la dosificación de sustancias químicas en relación con variables fluctuantes, como la cantidad de metales en solución y sus concentraciones, así como la presencia y concentración de otras sustancias. La dosificación insuficiente de productos químicos da como resultado la precipitación y la eliminación incompletas de metales regulados, mientras que la sobredosificación desperdicia productos químicos, genera volúmenes adicionales de lodo y aumenta el coste. Actualmente, debido a las consecuencias de las descargas ilegales, la mayoría de las operaciones de tratamiento de aguas residuales simplemente absorben el coste adicional y dosifican en exceso los productos químicos en sus operaciones de tratamiento. Además, dado que cada metal precipita de manera óptima a un pH diferente, en aguas residuales que contienen varios metales, ajustar el pH para precipitar un metal en realidad puede hacer que otro metal se redissuelva en las aguas residuales. Por último, los procesos de precipitación química requieren una gran cantidad de espacio y capital en equipo.

- 55 Por el contrario, el intercambio iónico es una reacción química estequiométrica, reversible, electrostática en la que un ion en solución se intercambia por un ion con una carga similar en un complejo. Estos complejos están generalmente unidos químicamente a un sustrato de polímero orgánico sólido e insoluble que crea una resina; de los

cuales el más corriente es el poliestireno reticulado. Además, se pueden emplear sustratos inorgánicos como gel de sílice de diversas porosidades y modificaciones químicas. La reticulación de poliestireno se consigue añadiendo divinilbenceno al estireno, lo que aumenta la estabilidad, pero reduce ligeramente la capacidad de intercambio. Con una estructura macro porosa, estas resinas de intercambio iónico se producen normalmente en forma de pequeñas perlas (1 mm), proporcionando así una superficie muy alta y accesible para la fijación de los complejos del grupo funcional; la zona donde realmente tiene lugar la reacción de intercambio iónico. La capacidad de intercambio de la resina se define por el número total de puntos de intercambio, o más específicamente, de sus grupos funcionales totales disponibles.

En la reacción de intercambio iónico real, un ion como el sodio ( $\text{Na}^+$ ) unido débilmente a un grupo funcional del complejo se intercambia por un ion en solución tal como el cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ); es decir, los iones sodio se desprenden del complejo y entran en la solución mientras que el ion cobre sale de la solución y toma el lugar de los iones sodio en el complejo. Hay dos tipos de resinas de intercambio iónico, intercambiadores de cationes, que intercambian sus iones cargados positivamente ( $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , etc.) por iones con carga similar ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , etc.) en solución, e intercambiadores de aniones, que intercambian sus iones con cargas negativas ( $\text{OH}^-$ ) para iones con carga similar en solución (cloruros, sulfatos, etc.).

Las resinas de intercambio iónico también pueden ser selectivas o no selectivas, en función de la configuración y la estructura química de sus grupos funcionales. Las resinas no selectivas presentan afinidades muy similares para todos los iones con carga similar, y consecuentemente por consiguiente atraerán e intercambiarán todas las especies sin preferencia significativa. Las resinas selectivas tienen grupos funcionales especializados que presentan diferentes afinidades a diferentes iones de carga similar, lo que los hace atraer e intercambiar iones con especies en un orden de preferencia bien definido. El ion que está originalmente unido a la resina (p. ej.,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ) tiene la afinidad más baja, por lo que intercambiará lugares con cualquier otro ion que encuentre la resina. Hablando en términos generales, la afinidad relativa que presenta una resina para un ion determinado se correlaciona directamente con la eficiencia y capacidad de intercambio para ese ion. Sin embargo, como las resinas selectivas se basan en afinidades relativas, la selectividad real también es relativa y no absoluta.

Las resinas de intercambio iónico se pueden regenerar una vez que se haya agotado su capacidad de intercambio iónico; es decir, todos los grupos funcionales ya han cambiado su ion original por uno que estaba en la solución. Esto también se conoce como una resina que ha sido "saturada" en el sentido de que no puede adsorber ningún ión más. El proceso de regeneración es simplemente la reacción inversa del intercambio iónico original. Se enjuaga en primer lugar con agua limpia a través de la resina saturada para eliminar cualquier partícula, sólidos u otras contaminaciones. Luego se pasa una solución que contiene una alta concentración del ion original (p. ej., los iones  $\text{H}^+$  contenidos en un ácido) a través de la resina, haciendo que el ion capturado en el grupo funcional (p. ej.,  $\text{Cu}^{2+}$ ) se separe a la fuerza del grupo funcional y se disuelva en la solución y sea sustituido por los iones  $\text{H}^+$  del ácido. Dependiendo del tipo de resina (catiónica o aniónica, débil o fuerte) se usan diferentes productos químicos para regenerar resinas. En el caso de resinas selectivas o quelantes, las fuertes afinidades presentadas por estas resinas requieren un consumo químico muy aumentado para el proceso de regeneración. La regeneración da como resultado un retorno de la resina a su forma original (adecuada para su reutilización) y una solución, también conocida como regenerante, que contiene todos los metales u otros iones retirados de la resina. Dependiendo de su composición y complejidad, algunos regenerantes pueden procesarse más mediante métodos tales como la electrodeposición para recuperar metales. El consumo de productos químicos para la regeneración, así como la dificultad y los costos de tratamiento o eliminación de los regenerantes que contienen metales, es la principal razón por la cual el intercambio iónico a menudo no es una opción rentable de tratamiento de aguas residuales para los residuos que contienen metales.

Los documentos US 3.215.624, WO 2006/030279, US 40.350.597, WO 2004/098.776, US 5.779.906, US 5.804.606, así como US 5.310.486 y US 2007/297960 tratan todos de varios métodos para el tratamiento de aguas contaminadas con iones metálicos con objeto de eliminar dichos iones metálicos.

### Compendio de la descripción

En una primera aplicación de esta descripción, un sistema según una realización concreta puede incluir un sistema de banda filtrante a vacío diseñado para recibir un depósito de resina saturada de un sistema de la parte inicial, el sistema de banda filtrante a vacío diseñado para generar una suspensión procedente del depósito de resina saturada y para proporcionar un lavado de resina en cascada a la suspensión. El sistema incluye además un sistema de regeneración repetitivo diseñado para recibir una unidad de purificación llena de metal procedente de un sistema de purificación específico de metal. El sistema de regeneración repetitivo está diseñado además para aplicar sucesivamente los contenidos de un gran número de depósitos de ácido a la unidad de purificación llena de metal para generar una sal metálica.

Se pueden incluir una o más de las siguientes características. La diversidad de depósitos de ácido puede incluir tres depósitos de ácido. Al menos uno de un ácido, un agente oxidante y un agente reductor de cada uno de la diversidad de depósitos de ácido puede bombearse a través de la unidad de purificación llena de metal en un orden preseleccionado. Cada uno de la diversidad de depósitos de ácido puede incluir una concentración diferente de ácido con concentraciones de sales metálicas objeto de recuperación acumuladas variables. La unidad de

purificación llena de metal puede incluir al menos uno de cobre, níquel, cinc y una resina de intercambio iónico. La resina de intercambio iónico puede ser al menos una de entre una resina de intercambio iónico iminodiacético, gel de sílice, geles de sílice modificados químicamente y otros soportes inorgánicos.

5 En algunas realizaciones, el sistema de regeneración repetitiva puede diseñarse para proporcionar una salida a un depósito de compensación de producto. Puede incluirse un ácido usado más frecuentemente dentro de al menos uno de la diversidad de depósitos de ácido, el ácido usado más frecuentemente que se aplica a la primera unidad de purificación llena de metal. Un primer depósito de ácido se puede diseñar para administrar ácido a la unidad de purificación llena de metal, un segundo depósito de ácido se puede diseñar para administrar en el primer depósito de ácido, y un tercer depósito de ácido se puede diseñar para administrar en el segundo depósito de ácido. Un depósito de compensación de producto puede diseñarse para recibir un efluente resultante del primer depósito de ácido que se vacía en la unidad de purificación llena de metal.

15 En otra aplicación de esta descripción, un método según una realización concreta incluye recibir un depósito de resina saturada de un sistema de la parte inicial en un sistema de banda filtrante a vacío y generar una suspensión del depósito de resina saturada. El método incluye además proporcionar un lavado de resina en cascada para la suspensión y recibir una unidad de purificación llena de metal de un sistema de purificación específico de metal en un sistema de regeneración repetitivo. El método también incluye la aplicación sucesiva, en el sistema de regeneración repetitivo, del contenido de diversos depósitos de ácido a la unidad de purificación llena de metal para generar una sal metálica.

20 Pueden incluirse una o más de las siguientes características. La diversidad de depósitos de ácido puede incluir tres depósitos de ácido. El método también puede incluir el bombeo de ácido desde cada uno de la diversidad de depósitos de ácido a la unidad de purificación llena de metal en un orden preseleccionado. Cada uno de la diversidad de depósitos de ácido puede incluir una concentración diferente de ácido. La unidad de purificación llena de metal puede incluir al menos uno de cobre, níquel, cinc y una resina de intercambio iónico. La resina de intercambio iónico puede ser una resina de intercambio iónica iminodiacética.

25 En algunas realizaciones, el método puede incluir además proporcionar una salida a un depósito de compensación de producto a través del sistema de regeneración repetitiva. El método también puede incluir especialmente un ácido usado más frecuentemente dentro de al menos uno de la diversidad de depósitos de ácido y aplicar el ácido utilizado más frecuentemente a la unidad de purificación llena de metal. El método puede incluir además administrar ácido desde un primer depósito de ácido a la unidad de purificación llena de metal, administrar ácido desde un segundo depósito de ácido al primer depósito de ácido, y administrar ácido desde un tercer depósito de ácido al segundo depósito de ácido. El método también puede incluir recibir un efluente resultante del primer depósito de ácido que se vacía en la unidad de purificación llena de metal en un depósito de compensación de producto.

30 Los detalles de una o más realizaciones se exponen en los dibujos adjuntos y la descripción a continuación. Las características y ventajas se harán evidentes a partir de la descripción, los dibujos y las reivindicaciones.

35 **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 2 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 3 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 4 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 40 la figura 5 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 6 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 7 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 8 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 9 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 45 la figura 10 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 11 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 12 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 13 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción;  
 la figura 14 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción; y

la figura 15 es una realización ilustrativa de un sistema de aguas residuales según la presente descripción.

Símbolos de referencia similares en los diversos dibujos pueden indicar elementos similares.

### Descripción detallada

5 La presente descripción se refiere a un sistema a base de resina de intercambio iónico modular y automatizado que puede procesar aguas residuales que contienen metales de manera que el agua tratada puede reciclarse o descargarse según las normas reglamentarias. Las realizaciones de la presente descripción pueden capturar los metales en el agua residual y luego separar, purificar y concentrar cada metal en productos finales comercializables tales como sulfatos metálicos.

10 El sistema está compuesto por una unidad de la parte inicial situada en el punto de generación de aguas residuales, y una instalación central de tratamiento donde se recogen y procesan las columnas de intercambio iónico que llevan metales de numerosas unidades iniciales. Alternativamente, cuando los volúmenes de tratamiento, las consideraciones económicas y/o reglamentarias lo justifiquen, la instalación central de tratamiento se puede situar junto al sistema de la parte inicial.

15 Las realizaciones de la presente descripción pueden usarse para recoger metales ambientalmente regulados de las corrientes de agua de lavado de los baños de galvanizado y operaciones similares. Se puede generar agua de lavado cuando se limpian varias piezas de trabajo para recibir el producto final, lavado en superficie. Puede ser necesario eliminar el exceso de líquido de galvanizado antes de secar, embalar y enviar las piezas de trabajo. La calidad del agua de lavado o la abundancia de metales que son transportados en el agua de lavado pueden depender del propio proceso de lavado (p. ej., pulverización, inmersión, agitación, etc.) y también las propiedades  
20 generales de la superficie y la naturaleza de la pieza de trabajo chapada. Por lo tanto, la concentración de metales tóxicos tales como cobre, níquel, cinc y cromo puede variar en un taller en particular.

25 En general, la presente descripción se puede usar para proporcionar la eliminación segura y eficiente de las contaminaciones de metales reguladas ambientalmente *in situ* en diversas instalaciones de galvanizado. Las realizaciones de la presente descripción pueden incluir el reemplazo de depósitos de resina agotada por depósitos con capacidad completa, regenerados y el transporte entre la instalación de galvanizado y una instalación central de tratamiento exterior. Las realizaciones de la presente descripción se pueden usar para recuperar metales industrialmente valiosos incluidos, pero no limitados a, Cu, Zn, Ni y Cr como productos de sales metálicas en forma líquida o sólida. Una vez que estos metales se han recuperado satisfactoriamente, pueden redistribuirse como sales metálicas recicladas de alta calidad a la industria de galvanizado u otros consumidores. Los sistemas y métodos  
30 descritos en la presente memoria se pueden usar para proporcionar un tratamiento seguro y eficaz de los metales tóxicos residuales y la reducción del volumen total de residuos en más del 80%.

35 En algunas realizaciones, la presente descripción puede aplicarse a una amplia variedad de procesos en los que los metales de un tratamiento en superficie se llevan a aguas de lavado y corrientes residuales. Las enseñanzas de la presente descripción se pueden usar para reemplazar, en su totalidad o en parte, la tecnología convencional de tratamiento de lodos y deposición en vertederos, que se ha empleado desde los primeros días del tratamiento de aguas residuales. Si bien la presente descripción puede abordar metales industriales tales como cobre, níquel, cinc y cromo, de ningún modo se pretende que esté limitada a estos metales, ya que las enseñanzas de la presente descripción pueden usarse para tratar cualquiera de los numerosos tipos de metales.

40 La tecnología de intercambio iónico se basa en la interacción electrostática de los iones disueltos en agua con determinados grupos funcionales orgánicos. Estos grupos pueden atraer los iones con carga positiva o negativa e intercambiar su protón o ion hidróxido utilizado como condición previa a los grupos funcionales. Los iones con carga positiva se denominan cationes, mientras que los iones con carga negativa se denominan aniones. Los grupos funcionales orgánicos pueden incluir, pero no se limitan a, ácido sulfónico, ácidos carboxílicos, aminas terciarias y aminas cuaternarias. Los grupos orgánicos suelen estar unidos químicamente a estireno o copolímeros  
45 acrílicos. Los polímeros pueden proporcionar una cadena principal insoluble en agua con una gran superficie para filtrar los iones de una corriente de agua bombeada de manera eficiente y controlada.

50 En algunas realizaciones de la presente descripción, los polímeros o resinas de intercambio iónico pueden rellenar, por ejemplo, depósitos o columnas (p. ej., 80-100 l). Esto puede permitir la fácil sustitución de una resina de intercambio iónico saturada. Una resina de intercambio iónico saturada es un polímero donde todos, o la gran mayoría de los grupos funcionales disponibles, han sido reemplazados por los iones objeto de recuperación. La resina en este punto puede requerir regeneración que puede permitir la recogida de los iones "cargados".

55 En algunas realizaciones, los intercambiadores de iones o depósitos de resina pueden inmovilizarse y pueden actuar como un filtro selectivo de iones. Esto significa que muchos iones metálicos diluidos en las corrientes de agua se adsorben y se concentran en la resina de intercambio iónico. Se pueden tratar volúmenes muy grandes de agua con depósitos o cartuchos de intercambio iónico relativamente pequeños. Los demás contaminantes en la corriente de agua no son atraídos por las resinas de intercambio iónico. El tratamiento de aguas residuales es, por lo tanto, muy efectivo y factible cuando se emplea la tecnología de intercambio iónico. Además, existen resinas de

intercambio iónico que soportan un grupo funcional orgánico aún más selectivo. Estas resinas de intercambio iónico pueden permitir un nivel adicional de selectividad y capacidades de adsorción.

Las realizaciones de la presente descripción pueden utilizar resinas de intercambio iónico tanto selectivas como no selectivas de metales. Una de las ventajas de emplear resinas de intercambio iónico selectivas es la capacidad de atraer iones metálicos específicos más fuertemente que otros metales. Por ejemplo, el cobre es atraído casi selectivamente por las resinas de intercambio iónico de tipo de ácido iminodiacético. Los metales de transición (es decir, Cu, Zn, Ni) forman una jerarquía de atracción bien definida para este grupo funcional orgánico.

Por el contrario, una resina de intercambio no selectiva puede adsorber una amplia gama de iones y, por lo tanto, eliminar las posibles contaminaciones por completo. En algunas realizaciones de la presente descripción, estas resinas pueden usarse para la desmineralización de agua antes del reciclado o como afinadores.

Con referencia ahora a la figura 1, se proporciona una representación esquemática 100 de una realización de un proceso de aguas residuales según la presente descripción. En algunas realizaciones, el proceso de aguas residuales puede incluir tanto un sistema de la parte inicial 102, que puede tener lugar en una planta del cliente, tal como una instalación de galvanizado, y un proceso principal 104, que puede tener lugar en una instalación central.

En algunas realizaciones, el sistema de la parte inicial 102 puede consistir en varios procesos individuales ensamblados linealmente en un sistema de tratamiento continuo, que puede controlarse mediante un controlador lógico programable conectado a detectores, bombas, válvulas y otros elementos físicos asociados al sistema 102. Cada proceso puede eliminar o tratar un contaminante específico en el agua residual para cumplir o exceder los criterios de descarga regulatoria y/o para garantizar el funcionamiento adecuado de los depósitos de intercambio iónico para la eliminación de metales. Las sustancias no reguladas se pueden eliminar en planta, mientras que los materiales regulados (principalmente metales de transición) se pueden recoger en columnas y cartuchos para su transporte a una instalación de tratamiento principal.

En algunas realizaciones, el sistema de la parte inicial 102 puede diseñarse para realizar una eliminación pasiva de la contaminación por metales en las aguas de lavado generadas en la instalación de galvanizado. El efluente del sistema de la parte inicial 102 puede filtrarse para que contenga pocos o ningún metal regulado o tóxico y puede descargarse y/o ser tratado por su contaminación orgánica (p. ej., eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO) o del carbono orgánico total (COT)).

Una vez que se alcanza la capacidad de carga de las resinas de intercambio iónico en el sistema de la parte inicial 102, los depósitos de resina de intercambio iónico pueden intercambiarse por depósitos de resina recién regenerados. Los depósitos agotados y cargados de metal pueden volverse a transportar al proceso principal 104 en la instalación de tratamiento principal. La instalación central puede recoger los metales objeto de recuperación de las resinas cargadas y volver a regenerar el material para su reutilización en las plantas de galvanizado.

En algunas realizaciones, los metales recogidos se pueden recoger como un líquido que tiene un concentrado de metales mezclados. Esta solución se puede usar para aislar y purificar los metales objeto de recuperación, cobre, níquel y cinc. Los metales pueden recogerse como una solución de sulfato metálico muy concentrada.

En algunas realizaciones, el producto del proceso principal 104 puede aportarse a la fase de producción 106, que puede diseñarse para crear una cristalización de las mezclas metálicas para generar sales de sulfatos metálicos. Los sulfatos pueden volver a alimentarse en el mercado como recurso para instalaciones de galvanizado 102 o para industrias relacionadas.

En algunas realizaciones, algunos o todos los metales que no son económicamente viables o que son demasiado tóxicos para ser descargados sin tratar, pueden experimentar una precipitación de hidróxido convencional. Los lodos recibidos pueden tratarse y eliminarse a través de las instalaciones y empresas de gestión de residuos existentes. El volumen de lodo producido por el proceso principal 104 en la instalación central puede ser una pequeña fracción de la cantidad originalmente producida generada utilizando las tecnologías existentes. El proceso principal 104 y la fase de producción 106 pueden permitir también una desintoxicación mejorada para proporcionar un servicio seguro y fiable al público y al medio ambiente.

#### Sistema de la parte inicial

Haciendo referencia ahora a la figura 2, se proporciona una realización ilustrativa del sistema de la parte inicial 200. El sistema 200 puede incluir uno o más depósitos de resina 202 A-D, que pueden estar diseñados para contener una resina de intercambio iónico. Se pueden usar numerosas resinas de intercambio iónico según la presente descripción. Por ejemplo, algunas resinas de intercambio iónico pueden ser fuertemente ácidas, fuertemente básicas, débilmente ácidas o débilmente básicas. La resina de intercambio iónico también puede ser una resina quelante, tal como chelex 100, o cualquier otra resina de intercambio iónico adecuada. Sin embargo, la adsorción de iones o complejos metálicos también es posible con materiales de soporte inorgánicos como geles de sílice o geles de sílice químicamente modificados. El mecanismo de adsorción puede ser de interacción hidrófoba, de interacción hidrófila o de otra naturaleza.

En algunas realizaciones, la eficiencia de la filtración y eliminación de metales pueden mejorarse significativamente empleando una resina de intercambio iónico preselección del tipo de ácido iminodiacético como se muestra en más detalle en la figura 9. De esta forma, la preciada capacidad de intercambio iónico no puede ser utilizada por los iones metálicos que tienen una gran abundancia natural pero no están regulados por las autoridades debido a su carácter atóxico (p. ej., sodio, calcio, magnesio, potasio, etc.) De esta forma, se puede aplicar el primer mecanismo económico de preselección para preservar recursos y la capacidad de intercambio iónico. Por lo tanto, las realizaciones de la presente descripción pueden usarse para eliminar metales de transición tales como cobre, níquel y cinc con preferencia sobre los metales de bases monovalentes (Na, K, etc.) o los metales de bases divalentes (p. ej., Ca y Mg). Esta preselección puede permitir enriquecer solamente los metales que son metales objeto de recuperación valiosos y/o los que están regulados por las autoridades ambientales.

En algunas realizaciones, el sistema 200 puede incluir además un cuadro de mandos 204, que puede diseñarse para controlar una o más operaciones del sistema 200. El cuadro de mandos 204 puede incluir un controlador lógico programable (PLC) 205, o un dispositivo similar, que puede estar diseñado para hacer el seguimiento y/o controlar los parámetros de funcionamiento del sistema de la parte inicial 200. Los detectores pueden colocarse en todo el sistema 200 para proporcionar datos operativos del sistema, incluidos, entre otros, el volumen en varios depósitos, rendimiento del sistema, caudales, pH del agua residual en cada etapa del proceso, volumen de reactivos químicos disponibles, potencial de oxidación/reducción, presión, etc. El PLC 205 puede diseñarse para procesar estos datos entrantes en tiempo real y a continuación comandos de salida a bombas, válvulas y otro equipo informático del sistema según los algoritmos de su programa informático privado. Un medidor de caudal, o dispositivo similar, puede medir el volumen total de rendimiento del sistema, mientras que varios medidores de caudal más pequeños pueden controlar el caudal mediante cada uno de los componentes del sistema 200. En algunas realizaciones, el PLC 205 puede estar conectado operativamente a un sistema de comunicaciones por el cual los datos pueden transmitirse de manera inalámbrica o a través de Internet a un centro de control centralizado. Esto puede permitir el control remoto de las operaciones del sistema 200. Esto también puede proporcionar menores costes de personal así como también optimizar la programación de cambios y/o sustituciones en el depósito de resina.

En algunas realizaciones, el cuadro de mandos 204 y/o el PLC 205 pueden permitir a un operador controlar el caudal de agua residual influente usando la bomba de aporte 206. La bomba de aporte 206 se puede diseñar para aportar agua residual de aporte a uno o más depósitos de almacenamiento dentro del sistema 200, p. ej., el depósito de oxidación 208. El depósito de oxidación 208, que se describirá con más detalle a continuación, puede proporcionar una salida al depósito de alimentación 210. El depósito de alimentación 210 puede estar conectado operativamente al filtro de cartucho 212 y al filtro de carbón activado (C.A.) 214. Una o más bombas del filtro 216 pueden usarse también para bombear el agua residual a través de varias partes del sistema 200. El sistema 200 puede incluir además depósitos de ácido tales como el depósito de ácido clorhídrico (HCl) 218 y el depósito de hipoclorito de sodio (NaOCl) 220, que pueden estar conectados operativamente mediante bombas, válvulas, etc. a partes del sistema 200. Más detalles del sistema 200 se describen a continuación con referencia a la figura 3. Dependiendo de los componentes recuperados y del mecanismo de adsorción utilizado, podrían usarse otros productos químicos.

Haciendo referencia ahora a la figura 3, se proporciona una realización ilustrativa del sistema 300 que muestra los depósitos de resina 302 A-G dispuestos en una disposición en serie. Inicialmente, las aguas residuales del cliente pueden almacenarse en el depósito amortiguador 301, que puede diseñarse para regular el caudal de aguas residuales en el sistema 300. Además, las concentraciones de los contaminantes variables pueden modularse y normalizarse (si es necesario). El depósito amortiguado 301 también puede permitir el análisis de características de aguas residuales que incluidos, pero no limitados a, los metales presentes y sus respectivas concentraciones, pH, sólidos en suspensión, demanda química de oxígeno y potencial de oxidación/reducción.

En algunas realizaciones, las columnas iniciales de resina (p. ej., 302A y 302 B) pueden saturarse en primer lugar. Este diseño puede permitir un sistema parcial o totalmente móvil, que puede proporcionar una transferencia fácil de los depósitos de resina hacia y desde la instalación central. Los depósitos de resina 302A-G pueden ser de cualquier tamaño adecuado, por ejemplo, en una realización concreta, cada uno de los depósitos 302A-G puede diseñarse para que contenga aproximadamente 80-100 litros de resina de intercambio iónico. Cada depósito de resina asociado a los depósitos 302A-G puede incluir además una o más etiquetas de seguimiento RFID o dispositivos similares, que pueden diseñarse para proporcionar capacidades de control, que se exponen con más detalle a continuación.

En algunas realizaciones, cada depósito de resina puede estar diseñado para extraer continuamente cobre (Cu), cinc (Zn) y níquel (Ni) del agua de lavado generada por el proceso de galvanizado. Esto se puede conseguir bombeando el agua de lavado sobre los depósitos de resina de intercambio iónico 302A-G después del almacenamiento intermedio en el depósito de alimentación 310. La captura real de los metales de transición Cu, Ni y Zn puede tener lugar de forma pasiva. Una o más bombas pueden suministrar la energía requerida para el proceso de carga o filtración. Una vez que el agua de lavado ha pasado a través de los depósitos de resina 302A-G, los metales tales como cobre, níquel y cinc, por ejemplo, pueden eliminarse hasta una concentración inferior a los límites de descarga locales (p. ej., 1-3 mg/l, dependiendo del metal). Puede entonces tratarse más por la contaminación orgánica del agua o, si cumple con la normativa local, puede descargarse en los desagües municipales. Como se conoce la capacidad de carga de la resina de intercambio iónico (es decir, el volumen de

resina), la capacidad del filtro puede ajustarse fácilmente a las concentraciones observadas de contaminación metálica (p. ej., individualmente para cada taller). Por ejemplo, un tiempo de uso normal hasta el reemplazo con una nueva serie de depósitos de resina puede ocurrir después de aproximadamente diez días hábiles (p. ej., 2 semanas de operación utilizando 40 m<sup>3</sup> de agua de lavado diariamente).

5 En algunas realizaciones, cada uno de los depósitos de resina 302 A-G puede estar total o parcialmente cerrado y puede estar equipado con aberturas de entrada y salida apropiadas para el caudal del agua a tratar. Los depósitos de resina 302A-G pueden diseñarse para contener y soportar la resina, creando así un lecho de resina de altura y profundidad definidas. Esta configuración también puede proporcionar el medio para que se produzca la reacción de intercambio iónico a medida que las aguas residuales pueden pasar a través de cada uno de los depósitos de resina 302A-G y distribuirse uniformemente por todo el lecho de resina. Hay varios diseños de circulación posibles que pueden usarse para pasar soluciones a través de cada uno de los depósitos de resina 302A-G, incluidos, pero no limitados a, la parte superior interna/inferior externa, la parte inferior interna/superior externa y la parte superior interna/superior externa. Los depósitos de resina 302 A-G pueden conectarse a otros equipos, tales como bombas, válvulas, tuberías, etc., que pueden regular el caudal de entrada/salida de aguas residuales, los reactivos para la regeneración y las soluciones de contralavado. Dado que las resinas de intercambio iónico pueden sufrir ensuciamiento y congestión por compuestos orgánicos y sólidos, solo determinados tipos de aguas residuales pueden ser adecuados para el tratamiento de intercambio iónico. En otros casos donde los niveles de contaminantes inapropiados se encuentran dentro de un intervalo manejable, se pueden considerar etapas de pretratamiento tales como filtración y oxidación antes de que las aguas residuales entren en los depósitos de resina 302A-G para asegurar el funcionamiento apropiado.

En funcionamiento, durante la fase de carga, uno o más depósitos de resina 302A-G pueden contener resina nueva y el agua residual puede bombearse a través de los depósitos de resina a una velocidad diseñada para proporcionar una cantidad adecuada de tiempo de contacto entre el agua residual y la resina para que tenga lugar la reacción de intercambio iónico. A medida que las aguas residuales circulan a través del lecho de resina, puede producirse la reacción de intercambio iónico y los metales y otros contaminantes iónicos pueden eliminarse del agua residual y quedar atrapados en la resina. A medida que la capacidad de intercambio de la resina se agota progresivamente, algunos metales pueden no ser capturados por la resina y pueden comenzar a fugarse, o "penetrar", uno o más depósitos de resina 302A-G. Por consiguiente, los depósitos de resina 302A-G se pueden diseñar en serie, como se muestra en la figura 3, de modo que cada depósito de resina pueda capturar algunos metales o iones que escapan del depósito que lo precede; asegurando así un tratamiento satisfactorio de las aguas residuales. Una vez que un depósito de resina se satura, se puede desconectar (p. ej., usando el cuadro de mandos 204), o sacar la serie de depósitos 302A-G en operación de servicio, y regenerarlos. La manipulación física y la exposición a productos químicos pueden causar la degradación de la estructura de la resina y la capacidad de intercambio a lo largo del tiempo. Por lo tanto, este ciclo de carga/regeneración puede realizarse repetidamente hasta que se alcanza la vida operativa de la resina, y ya no es económico o posible continuar usando la resina. En ese momento, la resina agotada puede desecharse, y los depósitos de resina 302 A-G pueden llenarse con nueva resina.

El sistema 300 puede incluir además un cuadro de mandos tal como el cuadro de mandos 204 que se muestra en la figura 2, que puede diseñarse para controlar el funcionamiento de varios componentes en todo el sistema. El cuadro de mandos 204 puede incluir un controlador lógico programable o dispositivo similar, que puede estar conectado operativamente a las válvulas, bombas, detectores y líneas de control del sistema 300. El cuadro de mandos 204 puede incluir numerosos tipos de circuitos, que pueden estar en comunicación con los componentes del sistema 300.

Como se usa en cualquier realización descrita en la presente memoria, el término "circuitos" puede comprender, por ejemplo, solo o en cualquier combinación, circuitos cableados, circuitos programables, circuitos de máquina de estados y/o firmware (soporte lógico inalterable) que almacena instrucciones ejecutadas por circuitos programables. Se debe entender desde el principio que cualquiera de las operaciones y/o componentes operativos descritos en cualquier realización o realización de la presente invención puede aplicarse en programas informáticos, firmware, circuitos cableados y/o cualquier combinación de los mismos.

Como se expuso anteriormente, el sistema 300 de la parte inicial puede usar un mecanismo de intercambio iónico preselectivo para separar previamente muchos metales regulados de los metales básicos atóxicos. Los detectores pueden colocarse en todo el sistema 300 para supervisar los parámetros operativos y alimentar datos al controlador lógico programable 205 asociado al cuadro de mandos 204. Cada proceso dentro del sistema 300 puede eliminar o tratar un contaminante específico de las aguas residuales a concentraciones concretas, que como mínimo satisfacen las normas de reciclaje o descarga reguladora.

55 En algunas realizaciones, los depósitos de alimentación, tales como el depósito de alimentación 310, pueden regular el caudal de entrada y permitir el análisis del agua residual así como el ajuste del pH (según se requiera). El depósito de alimentación 310 se puede diseñar para recibir una salida de numerosas fuentes, tal como el depósito de oxidación 308. El depósito de oxidación 308 puede estar diseñado para destruir y/o reducir agentes orgánicos que podrían potencialmente afectar negativamente la eficiencia de los depósitos de resina de intercambio iónico 302A-G que siguen. La salida del depósito de alimentación 310 se puede enviar a uno o más filtros, incluidos, pero no limitados al filtro de cartucho 312 y el filtro de carbón activado 314.

En algunas realizaciones, el filtro de cartucho 312 u otros filtros mecánicos tales como una bolsa de malla o filtro de arena, pueden eliminar sólidos en suspensión y otras partículas. El filtro de cartucho 312 puede proporcionar una salida al filtro de carbón activado para otras operaciones de filtrado. Por ejemplo, el filtro de carbón activado 314 puede limpiar las aguas residuales para eliminar cualquier materia orgánica interferente y/o sólidos en suspensión potencialmente remanentes.

Una vez que se completa el filtrado, las aguas residuales pueden enviarse a los depósitos de resina 302A-G, que pueden contener varios tipos de resinas de intercambio iónico. Los depósitos de resina 302A-G pueden alojarse en depósitos móviles, que pueden retirarse o ponerse en línea según sea necesario. Los depósitos de resina 302A-G pueden estar diseñados para capturar metales objeto de recuperación así como otras especies catiónicas o aniónicas. Los depósitos de resina individuales 302 A-G pueden estar etiquetados con identificación por radiofrecuencia (RFID) y vinculados con un sistema de programa informático logístico y de extracción de la base de datos central.

En algunas realizaciones, el sistema 300 puede incluir además uno o más depósitos de ácido, que pueden estar diseñados para proporcionar una solución ácida a partes del sistema 300. Por ejemplo, el depósito 318 de ácido  $H_2SO_4$  y el depósito 320 de NaOCl pueden estar conectados a una o más líneas o depósitos del sistema 300. Estos ácidos específicos se proporcionan meramente con fines ilustrativos como se pueden usar también diversos tipos de ácidos y soluciones.

Haciendo referencia ahora a la figura 4, se representa otra realización del sistema de la parte inicial 400. El sistema 400 puede incluir un depósito amortiguador 401, que puede diseñarse para almacenar aguas residuales a fin de regular el caudal en el sistema 400. Además, las concentraciones de los contaminantes variables pueden modularse y normalizarse (si es necesario). El depósito de amortiguación 401 también puede permitir el análisis de características de aguas residuales incluidas, pero no limitadas a, los metales presentes y sus respectivas concentraciones, pH, sólidos en suspensión, demanda química de oxígeno y potencial de oxidación/reducción.

En algunas realizaciones, el agua residual puede bombearse a un caudal designado desde el depósito amortiguación 401 al reactor de oxidación en línea 408. El reactor de oxidación 408 puede diseñarse para destruir agentes orgánicos que interfieren tales como cianuro y tensioactivos y se expone con más detalle con referencia a las Fig. 5-6. El reactor de oxidación 408 puede recibir NaOCl del depósito de ácido 420 y HCl del depósito de ácido 418. Utilizando productos químicos de oxidación como hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno, hidróxido de sodio o técnicas electroquímicas, las aguas residuales pueden oxidarse a pH bajo (p. ej., 4-6) para evitar y/o reducir la precipitación de metales objeto de recuperación, y a presión positiva para mantener el agente de oxidación activo en solución. El diseño de cámara doble del reactor de oxidación 408 puede crear una oxidación en dos etapas de contaminantes interferentes orgánicos, así como inorgánicos. El reactor de oxidación puede incluir uno o más orificios de salida, que pueden estar diseñados para permitir que varios gases se desplacen al lavador 427 y/o a la cámara de desgasificación 428.

En algunas realizaciones, el agua residual puede bombearse desde el reactor de oxidación 408 al filtro mecánico 412. El filtro mecánico 412 puede ser cualquier filtro adecuado que incluidos, pero no limitados a, filtros de arena, filtros de manga, etc. El filtro mecánico 412 puede diseñarse para eliminar sólidos en suspensión y otras partículas para evitar la obstrucción o ensuciamiento de depósitos de intercambio iónico (es decir, resina) 402 aguas abajo en el sistema 400.

En algunas realizaciones, el agua residual puede salir del filtro mecánico 412 y bombearse a través del filtro de carbón activado 414. El filtro de carbón activado 414 puede diseñarse para adsorber cualquier compuesto orgánico que interfiera que pueda permanecer disuelto, así como cualquier residuo de sólidos en suspensión. En este punto, las aguas residuales pueden estar sustancialmente exentas de sólidos, partículas, compuestos orgánicos interferentes, agentes quelantes u otros contaminantes que podrían afectar adversamente la eficiencia del proceso de intercambio iónico a seguir.

En algunas realizaciones, tras dejar el filtro de carbón activado 414, el pH del agua residual puede ahora ajustarse y controlarse (si es necesario, dependiendo de los metales presentes) en un depósito de alimentación tal como el depósito de alimentación 310 representado en la figura 3. El agua residual puede entonces ser bombeada a un caudal designado a los depósitos de intercambio iónico 402 A-B, que pueden colocarse en serie y pueden contener resinas de intercambio iónico selectivas. Aunque sólo se muestran dos depósitos de intercambio iónico preseleccionados en la figura 4, está previsto que se pueda usar cualquier cantidad de depósitos de intercambio iónico sin apartarse del alcance de la presente descripción. Se pueden producir ablandamiento, desmineralización de cationes básicos y aniones en el depósito 402C.

En algunas realizaciones, los depósitos de intercambio iónico 402 A-B pueden construirse a partir de un material resistente a pH extremos (p. ej., ácido y alcalino), que soporta la presión y no reactivo tal como plástico reforzado con fibra de vidrio (PRF). Los depósitos de intercambio iónico 402A-B pueden tener una altura y un diámetro adecuados para crear la profundidad adecuada del lecho de resina para el caudal del sistema 400. Los depósitos también pueden necesitar un tamaño que permita suficiente espacio para la fluidización y la expansión del lecho de resina. El número de depósitos de intercambio iónico utilizados puede depender de la capacidad volumétrica diaria

deseada y del tiempo comprendido entre el intercambio de depósitos. Cada depósito de intercambio iónico puede estar equipado con una válvula de derivación, lo que permite el servicio sobre la marcha de un depósito, o depósitos, individual sin necesidad de apagar todo el sistema de la parte inicial 400.

5 En algunas realizaciones, cada depósito de intercambio iónico puede ser móvil y establecerse en un marco o alojamiento, que puede proporcionar más protección así como manipulación y transporte simplificados. Cada depósito de intercambio iónico también puede estar equipado con una etiqueta única de identificación por radiofrecuencia (RFID) vinculada a un sistema de gestión logística. Los detectores montados en instalaciones manuales, montadas en camiones y en el tratamiento principal pueden permitir el seguimiento y la gestión en tiempo real de todos los depósitos de intercambio iónico (p. ej., 402A-B), así como la creación de un historial de operación, 10 que puede ser gestionado por un programa informático con base de datos. De esta manera, el historial de cada depósito de intercambio iónico, incluidos parámetros como, pero no limitados a, la situación del servicio, el tiempo de servicio, los metales capturados, la eficiencia/capacidad de intercambio, los resultados de regeneración y la vida en operación se pueden acumular en la base de datos. El sistema 400 puede incluir además programa informático de extracción de base de datos, que puede utilizarse para analizar los datos para identificar tendencias y eficiencias de operación; que pueden utilizarse entonces para optimizar los procedimientos operativos y reducir los costes. 15

En algunas realizaciones, por ejemplo, cuando se deben tratar grandes volúmenes de aguas residuales, se pueden colocar varios conjuntos o cadenas de depósitos de intercambio iónico en paralelo. Cada conjunto o cadena puede incluir una válvula de derivación independiente. En este diseño, un conjunto de depósitos de intercambio iónico puede desconectarse para su mantenimiento mientras que los otros conjuntos de depósitos pueden continuar en funcionamiento. Esto puede permitir el funcionamiento continuo del sistema de la parte inicial 400 con un tiempo de inactividad mínimo. Alternativamente, los depósitos de intercambio iónico más grandes pueden montarse directamente en una plataforma móvil, como en remolques de plataforma, para procesar pedidos de gran volumen. 20

En algunas realizaciones, cada conjunto de depósitos de intercambio iónico (por ejemplo, 402A-B) puede incluir un detector colocado entre dos depósitos de intercambio iónico cerca del final de la serie, que puede diseñarse para detectar la presencia de metales en las aguas residuales. Una señal positiva de este detector puede indicar un mal funcionamiento o penetración en el depósito de intercambio iónico que precede al detector. Este detector puede disparar una alarma que indica al operador que puede ser necesario un intercambio de depósitos de intercambio iónico. Además, un indicador visual que consiste en un segmento transparente de tubería que contiene resina de intercambio iónico puede colocarse junto al detector y también entre los dos depósitos de intercambio iónico. Normalmente, la resina de intercambio iónico puede cambiar de color a medida que adsorbe metales. Por consiguiente, un cambio de color de la resina indicadora puede permitir mediante una alarma de seguridad visual avisar al operador que se ha producido penetración y que se requiere un intercambio de depósitos de intercambio iónico. Este cambio de color puede determinarse utilizando un equipo de detección adicional o mediante inspección visual por parte del operador. Este diseño puede asegurar que las aguas residuales que llevan metales no escapen en conjunto del sistema 400, y que el sistema 400 de salida de aguas residuales tratadas cumple con los límites de descarga de la normativa y/o con las normass de calidad del agua de reciclaje. Se pueden colocar más detectores e indicadores a lo largo de la serie de depósitos de intercambio iónico para supervisar los parámetros de operación. 25 30 35

En algunas realizaciones, una vez que los metales y otras especies iónicas han sido capturados por los depósitos de intercambio iónico 402A-B, el efluente de estos depósitos puede almacenarse en un depósito 402C antes de ser enviado a los pulidores 422 y 424. Los pulidores 422 y 424 se pueden usar para eliminar cualquier partícula en suspensión restante que no se haya eliminado previamente. Al salir de los pulidores 422 y 424, las aguas residuales pueden enviarse al depósito 426 de almacenamiento de agua reciclada para su posterior almacenamiento. El agua resultante en el depósito de almacenamiento de agua 426, puede ser adecuada para la descarga en la instalación, o alternativamente, para reciclar y reutilizar allí mismo. Otros depósitos de ácido 430 y 432 pueden estar conectados operativamente al depósito de almacenamiento de agua reciclada 426 y diseñados para aportar diversos ácidos y/o soluciones al depósito 426 mediante una o más líneas de transmisión. En los casos en que el reciclaje puede requerir agua de mayor pureza, el agua tratada puede bombearse a través de un sistema de ósmosis inversa o tratarse con un sistema de desmineralización tradicional antes de su reutilización. 40 45

En algunas realizaciones, una vez que los depósitos de intercambio iónico 402A-B han capturado los metales necesarios y otros contaminantes, los depósitos de intercambio iónico 402A-B pueden transportarse a la instalación central de tratamiento para regeneración y reciclado. Se puede usar un dispositivo de presión de aire positiva para purgar cada depósito del exceso de agua a fin de minimizar el peso y facilitar la manipulación y el transporte. Algunos residuos que están exentos de materiales regulados (es decir, metales), como el contralavado de un filtro de arena, pueden desecharse allí mismo y no necesitar transporte. Alternativamente, en pedidos donde se exigen consideraciones económicas, reglamentarias u otras (tales como grandes volúmenes diarios de aguas residuales o restricciones al transporte de materiales regulados), la instalación central de tratamiento puede estar situada en el mismo sitio que el sistema de la parte inicial 400. Este diseño puede eliminar costes de manipulación y transporte sin ningún efecto perjudicial sobre las capacidades o la eficacia del sistema. 50 55

Haciendo referencia ahora a las figuras 5-6, como se expuso anteriormente, los sistemas 300 y 400 pueden incluir depósito de oxidación 308, 408, 500, que puede colocarse entre la corriente de agua residual influente y los depósitos de resina 302A-G. Ocasionalmente, durante el proceso de galvanizado, algunos metales pueden chaparse 60

mientras se estabilizan con un agente químico, generalmente cianuro. Sin embargo, el cianuro es un potente agente quelante y puede interferir con la química del intercambio iónico. De esta forma, el cianuro puede evitar que el ión metálico quede atrapado o adsorbido por los grupos funcionales dentro de los depósitos de resina 302A-G. Por lo tanto, el proceso podría perder eficacia y los metales tóxicos y los cianuros podrían escapar al tratamiento adecuado. El cianuro se puede destruir con un agente de oxidación fuerte, como hipoclorito de sodio o lejía (NaOCl en solución de NaOH, pH aprox. 12). La reacción puede tener lugar en un reactor agitado antes o en paralelo a la precipitación con hidróxido.

Para abordar este problema, en algunas realizaciones, el sistema 300 puede incluir un reactor de oxidación 500, que puede diseñarse como un reactor de flujo a través para permitir la destrucción de cianuro y otra contaminación orgánica en el agua de lavado. El reactor de oxidación 500 puede incluir un recipiente de oxidación 502 que tiene un orificio de entrada 504, un orificio de entrada de aire 506, un orificio de salida 508, un orificio de escape 510 y un miembro de reacción 512. El reactor de oxidación 500 se puede usar para oxidar el cianuro a un pH bajo (p. ej., 4-6) mientras que la solución de reacción se puede presurizar en el miembro de reacción 512, que puede adoptar la configuración en espiral representada en la figura 5. El bajo pH puede evitar la precipitación de hidróxido de los valiosos metales objeto de recuperación, mientras que la presión mantiene el cloro activo en solución física. De esta forma, el potencial de oxidación reducido del hipoclorito de sodio u otros agentes de oxidación fuertes puede compensarse e incluso mejorarse.

En algunas realizaciones, el orificio de entrada 504 puede diseñarse para permitir que numerosos líquidos entren en el recipiente de oxidación 502. Por ejemplo, el agua de lavado de varias operaciones de galvanizado puede entrar en el recipiente de oxidación 502 a través del orificio de entrada 504. El orificio de entrada 504 también puede permitir la adición de peróxido de hidrógeno y varios otros agentes tales como lejía. El orificio de entrada de aire 506 puede estar diseñado para permitir la adición de aire u otros gases al recipiente de oxidación 502, lo que puede dar como resultado la eliminación de gas cloro a través del orificio de escape 510. El orificio de salida 508 puede estar asociado a un filtro de carbón o dispositivo similar, que puede estar diseñado para eliminar cloro y/o compuestos orgánicos descompuestos. El orificio de escape 510 puede actuar como un conducto para recibir cianuro y gas cloro para su eliminación. Un pH bajo puede producir la desgasificación dentro del recipiente de oxidación 502, sin embargo, un pH alto puede producir la formación de hidróxidos metálicos, ya que dicho serpentín de reacción presurizada 512 puede usarse para contrarrestar un pH elevado.

En algunas realizaciones, el serpentín de reacción 512 puede disponerse utilizando tuberías en un serpentín apilado para crear un medio de presión cerrada y elevada mientras se aumenta el tiempo que el agua residual permanece en el recipiente de oxidación 502. El serpentín de reacción 512 puede tener cualquier longitud adecuada, en una realización, el serpentín de reacción 512 puede tener un par de metros de longitud. Las bombas de dosificación pueden estar operativamente conectadas al recipiente de oxidación 502 a través de tuberías para ajustar el pH y para la introducción del agente oxidante en las aguas residuales. El recipiente de oxidación 502 puede incluir además al menos un monitor diseñado para medir el pH del agua residual. El monitor puede estar conectado operativamente a un sistema de control, que puede alterar dinámicamente el pH de las aguas residuales en el recipiente.

En algunas realizaciones, la mezcla se puede conseguir mediante la inclusión de un mezclador estático en el reactor después del orificio de entrada 504. Además o alternativamente, la mezcla también se puede llevar a cabo con técnicas de sofocación tradicionales antes de la introducción en el serpentín de reacción 512. La aplicación de presión positiva en esta primera etapa puede enriquecer agentes de oxidación volátiles en la fase líquida y evitar que se desgasifiquen. Esto puede aumentar la eficiencia de oxidación al tiempo que se prolonga el tiempo de contacto del agente oxidante con el agua residual; incluso cuando se encuentra en un entorno de pH ligeramente ácido, químicamente desfavorable.

En algunas realizaciones, en otra etapa de oxidación, el agua residual puede salir del serpentín de reacción 512 y circular en una segunda cámara dentro del reactor de oxidación 500. La cámara puede estar sellada para evitar el escape de humos u otros subproductos de oxidación. Se puede conseguir una gran aireación del agua residual con la introducción de aire a través del orificio de entrada de aire 504 en el recipiente de oxidación 502 mediante una bomba. Contaminantes potencialmente craqueados pueden oxidarse más por el oxígeno en el aire mientras un sistema depurador, operativamente conectado al recipiente de oxidación 502 por el orificio de escape 510, se usa para controlar la desgasificación y eliminar humos tóxicos y/o subproductos de oxidación volátiles. Esta etapa también puede eliminar eficazmente el exceso de oxidante del agua residual ahora oxidada, limpiando las aguas residuales y minimizando cualquier ensuciamiento u otra contaminación de las resinas de intercambio iónico más adelante en el sistema.

En algunas realizaciones, puede estar integrada con el recipiente de oxidación 502 una cámara de eliminación de cloro en exceso. Con el método de extracción con aire, el exceso de cloro puede eliminarse de la solución de agua de lavado exenta de cianuro ahora para evitar daños en la resina de intercambio iónico. El cloro puede ser transferido de manera segura a través del orificio de escape 510 y atrapado en un depurador cáustico. La solución de depuración saturada puede reinyectarse posiblemente como un agente de oxidación en el depósito de oxidación 502.

En algunas realizaciones, el serpentín de reacción 512 puede estar presurizado y además puede evitar la desgasificación inicial del líquido de reacción. El serpentín de reacción 512 puede permitir un tiempo de reacción prolongado a un pH inferior a 8, lo que puede ayudar a conservar los metales objeto de recuperación en solución mientras destruye el cianuro y los aditivos orgánicos.

- 5 Haciendo referencia de nuevo a la figura 6, se proporciona otra realización que representa el reactor de oxidación 600. El reactor de oxidación 600 puede incluir además una cámara 614 de eliminación de cloro en exceso. En esta realización, se proporcionan dos cámaras de tratamiento separadas, a saber, el recipiente de oxidación 602 y la cámara 614 de eliminación de cloro en exceso adyacentes entre sí. El serpentín de reacción 612 se proporciona dentro del recipiente de oxidación 602 fijado al orificio de entrada 604, que se puede diseñar para proporcionar agua de lavado de las operaciones de galvanizado y/o ácido e hipoclorito. El recipiente de oxidación 602 se puede diseñar para proporcionar una reacción prolongada con cloro activo a un pH de aproximadamente 4-6,5. La cámara con exceso de cloro 614 puede diseñarse para eliminar el exceso de cloro de la solución tratada utilizando técnicas de aireación o similares. En algunos casos, el pH bajo puede ser necesario para mantener la solubilidad de las sales metálicas objeto de recuperación.
- 10
- 15 Haciendo referencia ahora a la figura 7, se proporciona un diagrama de flujo 700 que representa operaciones asociadas con un reactor de oxidación de la presente descripción. Las operaciones pueden incluir almacenar y/o recibir agua de lavado del proceso de galvanizado en un depósito de almacenamiento amortiguador (702). Las operaciones pueden incluir además utilizar un serpentín de reacción a presión positiva y un mezclador estático asociado al reactor de oxidación (704). En esta memoria, se puede agregar un agente de oxidación y se puede realizar un ajuste del pH. La desgasificación y la aireación pueden realizarse, p. ej., usando una soplante de aire u otras técnicas adecuadas (706). El efluente se puede recibir en los depósitos de intercambio iónico (708) y cualquier humo de escape del reactor de oxidación se puede enviar a un depurador para su desintoxicación (710). Ésta es simplemente una serie ilustrativa de operaciones, ya que otras numerosas operaciones también están dentro del alcance de la presente descripción.
- 20
- 25 Haciendo referencia ahora a la figura 8, se proporciona un diagrama de flujo 800 que representa las operaciones asociadas a los sistemas y métodos de la presente descripción. Las operaciones pueden incluir recibir y posteriormente almacenar agua de lavado de los baños de galvanizado (802). Las operaciones pueden incluir operaciones de oxidación tales como las descritas anteriormente con referencia a la figura 7(804). Las operaciones pueden incluir además el filtrado (806), con un filtro de carbón activado antes de proporcionar agua residual a los depósitos de resina (808). El agua restante puede someterse a un ajuste de pH (810) antes de someterse a ósmosis inversa para recuperación/reciclado de agua (812) o además o alternativamente, reciclándose sin tratar para el pretratamiento de piezas de trabajo (814). Al salir del sistema de la parte inicial, el agua tratada puede estar lista para ser reciclada en el sitio, o para ser descargada según las pautas reglamentarias de descarga aplicables. Si bien las sustancias no reguladas pueden eliminarse en el sitio, los depósitos de intercambio iónico que llevan metales pueden enviarse a una instalación de tratamiento central para regeneración de resinas, así como para el tratamiento y el reciclaje de los metales. Este es simplemente otro conjunto ilustrativo de operaciones ya que numerosas otras operaciones también están dentro del alcance de la presente descripción.
- 30
- 35

#### Tratamiento central

- 40 La instalación de tratamiento central puede servir como punto de recogida y tratamiento para los depósitos de intercambio iónico saturados o parcialmente saturados (resina) del sistema de la parte inicial. En la instalación central de tratamiento, los depósitos de intercambio iónico del sistema de la parte inicial pueden regenerarse para su reutilización y los metales pueden recuperarse en un proceso que consta de múltiples etapas, incluidas, pero no limitadas a, agotamiento de depósitos de intercambio iónico y regeneración de resinas, separación y purificación de metales, y tratamiento final de metales recuperados en productos finales.

- 45 En algunas realizaciones, los depósitos de resina cargados y agotados, p. ej., los depósitos de resina 302A-G, pueden llegar a la instalación central de tratamiento y están descargados. La resina puede eliminarse de los depósitos y tratarse con ácido en un proceso por lotes. El ácido puede eliminar los metales recogidos en la resina y, combinarse con el agua de lavado, proporcionar la solución de carga para la unidad de aislamiento y purificación que se describe a continuación. El ácido también puede devolver la resina de intercambio iónico a su forma protónica.
- 50

- En algunas realizaciones, debe señalarse que pueden usarse resinas de intercambio iónico iminodiacético en su forma protónica. Esto puede minimizar el uso de productos químicos y los requisitos de agua de lavado. Se puede conseguir un ahorro de aproximadamente 20% en costes de productos químicos y 50% de agua de lavado utilizando este método. El uso de la resina de intercambio iónico quelante en forma protónica puede ayudar a conservar enormes cantidades de agua cáustica, salmuera y especialmente agua de lavado. Además, hay un beneficio significativo en evitar que la resina se hinche durante el lavado y la regeneración con sosa cáustica (p. ej., valores de pH altos de aproximadamente 10-14). El hinchamiento puede ocurrir como resultado de una expansión volumétrica del eje central del poliestireno reticulado. Este hinchamiento y la posterior contracción a un pH bajo es una de las principales razones para la atrición de la resina. Por lo tanto, evitar los altos valores de pH en los que la resina está funcionando puede aumentar el tiempo de vida del material.
- 55
- 60

- 5 En algunas realizaciones, en el sitio donde está instalado el sistema de la parte inicial, los depósitos de intercambio iónico saturados, p. ej., 302 A-G, pueden intercambiarse por depósitos de intercambio iónico recién regenerados y luego volver a transportarse a la instalación central de tratamiento. Cuando las consideraciones económicas, regulatorias u otras lo justifiquen, la instalación central de tratamiento puede estar situada en el mismo sitio que el sistema de la parte inicial, lo que puede eliminar la necesidad de manejar y transportar los depósitos de intercambio iónico desde el sistema de la parte inicial. Además y/o alternativamente, la instalación de tratamiento principal también puede tener instalado un sistema de la parte inicial de modo que las aguas de proceso utilizadas en las diversas etapas también puedan ser tratadas y recicladas en el proceso, reduciendo aún más los costes y el consumo de productos químicos.
- 10 En algunas realizaciones, y como se expuso anteriormente con referencia a la figura 3, las partes del sistema de la parte inicial pueden incluir seguimiento de RFID. Por ejemplo, al llegar a la instalación central de tratamiento, los depósitos de intercambio iónico pueden clasificarse y agruparse en base a los datos recibidos de sus respectivas etiquetas RFID. El agrupamiento puede permitir el tratamiento más eficiente de depósitos de intercambio iónico, por ejemplo, depósitos que presentan características similares. Más específicamente, con respecto a los metales que contienen y sus concentraciones relativas. El programa informático con base de datos puede diseñarse para analizar los historiales operativos de los depósitos de intercambio iónico entrantes (en base a sus identificaciones RFID) y sugerir parámetros óptimos de tratamiento a los operadores. Este proceso de categorización y clasificación puede mejorar la eficiencia de la instalación al nivelar las diferentes variables de entrada de los distintos puntos de recogida de la parte inicial. Esto, junto con la agrupación de metales recuperados en lotes de volúmenes homogéneos, reduce el intervalo y el número de variables de cada lote, lo que simplifica el tratamiento y reduce los costes.
- 15 Haciendo referencia ahora a la figura 10, se proporciona una realización a modo de ejemplo de un sistema 1000 de regeneración y extracción en banda filtrante a vacío con cinta transportadora. El sistema 1000 puede estar situado en la instalación central de tratamiento, que puede estar situada dentro o fuera del sistema de la parte inicial. El sistema 1000 puede utilizar una disposición en cascada, que puede reutilizar menos agua de lavado contaminada de una manera repetitiva para ayudar a minimizar el consumo total de agua de lavado y proporcionar un alto grado de control sobre la composición y las características del regenerante. Esto también puede dar como resultado un uso más eficiente de aportes de productos químicos, lo que reduce los costes operativos.
- 20 En algunas realizaciones, el sistema 1000 puede diseñarse para recibir uno o más depósitos de intercambio iónico saturados 1002 del sistema de la parte inicial. El sistema 1000 puede realizar un proceso de agotamiento y regeneración para recuperar los metales capturados y regenerar las resinas a su estado original.
- 25 En algunas realizaciones, en el sistema 1000 puede recibirse un depósito de intercambio iónico saturado 1002. La resina de intercambio iónico puede sacarse del depósito de intercambio iónico 1002 y colocarse en el recipiente de almacenamiento de resina 1004. La resina se puede extraer de cada depósito de intercambio iónico 1002 usando cualquier técnica adecuada, por ejemplo, usando chorros de agua a alta velocidad. Este procedimiento puede enjuagar eficazmente la resina para eliminar cualquier partícula o sólidos atrapados, y también fluidificar la resina para contrarrestar cualquier compactación de los lechos de resina que puede haber ocurrido durante la etapa de carga del proceso de la parte inicial.
- 30 En algunas realizaciones, una vez que la resina se ha fluidificado, se puede usar la bomba de suspensión de resina 1005 para transferir la resina desde el recipiente de almacenamiento 1004 a la banda filtrante a vacío 1006. Los parámetros de funcionamiento de la bomba de suspensión 1005 pueden controlarse mediante un PLC asociado a un cuadro de mandos, que puede ser similar al mostrado en la figura 2. Cabe señalar que algunos o todos los componentes del sistema 1000 se pueden controlar a través de un PLC similar al descrito anteriormente con referencia a la figura 2. La resina fluidificada, en forma de suspensión, se puede extender luego sobre la banda filtrante a vacío 1006.
- 35 En algunas realizaciones, la banda filtrante a vacío 1006 se puede construir de cualquier material adecuado. Por ejemplo, la banda de filtro 1006 puede ser un material poroso tal como una malla, que puede diseñarse para recibir una presión negativa o vacío para desalinizar o eliminar parcialmente el agua de la resina en la banda. La banda filtrante a vacío 1006 puede colocarse como parte de un sistema de correa transportadora controlable o alternativo (p. ej., utilizando sistemas de control manual o automático conocidos en la técnica), que puede permitir que la banda filtrante 1006 pase a través de zonas de proceso discretas, que pueden incluir, pero no se limitan a, zonas de lavado, lavado y regeneración. La banda filtrante a vacío 1006 puede incluir una o diversas regeneraciones, que pueden pasar a través de las zonas de proceso. Por ejemplo, en algunas realizaciones, una banda filtrante a vacío puede pasar a través de cada una de las zonas. La velocidad a la que se bombea la suspensión de resina sobre la banda filtrante a vacío 1006, así como la velocidad de movimiento de la propia banda filtrante a vacío 1006 puede modificarse automática o manualmente según sea necesario.
- 40 En algunas realizaciones, las boquillas de pulverización 1008A-C pueden colocarse junto a la banda filtrante a vacío 1006 y diseñarse para distribuir agua, ácidos y otros agentes de tratamiento. Por ejemplo, la boquilla de pulverización 1008A puede colocarse encima de la banda filtrante a vacío 1006 y puede estar operativamente conectada a la cámara de almacenamiento de ácido clorhídrico (HCl) 1012. La boquilla de pulverización 1008A se puede diseñar para administrar HCl a la banda filtrante a vacío 1006. De forma similar, la boquilla de
- 45
- 50
- 55
- 60

pulverización 1008B puede estar operativamente conectada a la cámara de almacenamiento de NaOH 1014 y puede diseñarse para administrar NaOH a la banda filtrante a vacío 1006. La boquilla de pulverización 1008C puede estar operativamente conectada a la cámara de almacenamiento de agua de lavado 1016 y puede diseñarse para administrar agua de lavado a la banda filtrante a vacío 1006. Cada boquilla de pulverización puede conectarse a una o más bombas, que pueden controlar el caudal de las boquillas de pulverización 1008A-C.

La realización mostrada en la figura 10 puede proporcionar un nivel sumamente alto de flexibilidad de funcionamiento y control sobre cada uno de los parámetros de tratamiento. Por ejemplo, la profundidad de la masa de resina se puede determinar mediante la velocidad de carga de la suspensión de resina sobre la banda filtrante a vacío 1006 en movimiento. El tiempo de tratamiento y/o exposición de la resina en una zona de proceso determinada puede determinarse por la velocidad de una banda filtrante a vacío determinada. Además, el volumen de regeneración se puede controlar de forma precisa variando el caudal de los agentes (p. ej., agua, ácidos, etc.) pulverizados por las boquillas 1008A-C sobre la masa de resina en la banda filtrante a vacío 1006. El secado de la resina y la recuperación del líquido pueden ser regulados por el nivel del vacío (o caudal negativo de aire) aplicado. Además, el secado de la resina y la separación discreta de cada zona de proceso evita cualquier solapamiento incontrolado de cada etapa de tratamiento. La banda filtrante a vacío 1006 puede estar operativamente conectada a varias cámaras de recogida 1014A-D.

En algunas realizaciones, las cámaras de recogida 1014A-D pueden diseñarse para recibir líquidos y/o material sólido de la banda filtrante a vacío 1006. Por ejemplo, cada cámara de recogida puede aplicar una presión negativa a la banda 1006 para ayudar a eliminar el agua de la suspensión de resina. En algunas realizaciones, el sistema 1000 puede incluir una cámara de recogida 1014A diseñada para recibir agua extraída de la suspensión de resina y proporcionar esa agua para enjuagar la cámara 1016 de almacenamiento de agua. En algunas realizaciones, la cámara 1016 de almacenamiento de agua de lavado puede incluir una unidad de ósmosis inversa, que puede usarse para gestionar la calidad de la etapa pulidora.

En algunas realizaciones, las boquillas de pulverización 1008A-B pueden diseñarse para pulverizar ácido diluido u otros productos químicos que eliminan metales en la masa de resina con el fin de movilizar y eliminar metales de transición atrapados en la resina, el ácido resultante puede recogerse en las cámaras de recogida 1014B-C como un regenerante de metales mezclados. Las cámaras de recogida 1014B-C pueden proporcionar cualquier líquido remanente al depósito de recogida de salmuera 1018, que puede proporcionar una salida al sistema que se muestra en la figura 14. La boquilla de pulverización 1008C puede diseñarse para reutilizar el agua recuperada del depósito de recogida 1014A, la resina puede lavarse para eliminar cualquier ácido residual de las zonas anteriores. A la resina puede darse un lavado final con agua nueva. El agua recogida en esta zona puede luego reciclarse en una o más de las etapas iniciales (p. ej., el depósito de intercambio iónico 1002, el recipiente de almacenamiento 1004, la banda filtrante a vacío 1006) y usarse para extraer, lavar y fluidificar la resina.

Una vez que la resina ha recibido su lavado final, pueden extraerse de la resina los metales de transición, regenerarse en su forma ácida (protónica) y después de someterse a un control de calidad, puede estar lista para volver a cargarse en depósitos de intercambio iónico de la parte inicial para su reutilización en la parte inicial. Varias variaciones de las realizaciones descritas en esta memoria se pueden emplear en base a las características de la resina a procesar.

En algunas realizaciones, después de un determinado número de reutilizaciones, las aguas de proceso utilizadas en las etapas iniciales para enjuague y contralavado pueden enviarse a un sistema de la parte inicial in situ para el tratamiento y la reutilización continuada, por ejemplo, el sistema 102, 200 y/o 300. La eliminación de cualquier vestigio de metales y/u otros contaminantes puede permitir que el agua de proceso sea reciclada y reutilizada repetidamente. Esta drástica reducción en el consumo de agua es una mejora sustancial y puede reducir significativamente el coste del proceso.

Alternativamente, los depósitos de intercambio iónico de la parte inicial pueden extraerse con aire y regenerarse en un proceso más tradicional. En dicho proceso, las resinas pueden dejarse dentro de los depósitos de intercambio iónico y pueden volverse a enjuagar con agua para eliminar cualquier partícula y sólidos atrapados. Esto también puede fluidificar el lecho de resina y contrarrestar cualquier compactación que pueda haber ocurrido durante la etapa de carga del sistema de la parte inicial. Las resinas también se pueden extraer de cada uno de los depósitos de intercambio iónico de la parte inicial utilizando agua a presión y recogidas en una columna más grande para tratarlas como un lote. Una vez finalizado el tratamiento y regeneración de la primera etapa, las resinas procesadas por lotes pueden recargarse en cada uno de los depósitos de intercambio iónico de la parte inicial para su reutilización en el lugar de la parte inicial.

En algunas realizaciones, después del lavado, los ácidos pueden usarse entonces para extraer los metales capturados de las resinas de intercambio iónico y para regenerar las resinas a su forma protónica original. Este procedimiento de regeneración puede dar como resultado una solución ácida de metales mezclados, mientras que en las columnas extraídas y regeneradas se verifica la calidad para una regeneración apropiada y luego se envían nuevamente para su reutilización en el sistema de la parte inicial.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 10, en funcionamiento, la resina se puede sacar y enjuagar con corrientes de agua de alta velocidad desde el depósito de resina y a continuación exponer a agua de lavado reciclada y ácidos de regeneración. Los niveles de contaminación o carga de metales pueden diseñarse para funcionar en una situación de gradiente contra la corriente de resina. Esto se puede conseguir cargando la resina después de la retirada de los depósitos al filtro de banda de vacío 1006. La banda filtrante a vacío 1006 puede entonces enviar la resina a través de varias zonas de pulverización donde se aplican los diferentes agentes y aguas de lavado. De esta manera, se pueden utilizar los recursos lo más eficientemente posible con grandes beneficios económicos para el funcionamiento de la planta.

Una vez que los metales y contaminantes objetivo se han recogido en un depósito de compensación concentrado, el metal de mayor afinidad a la resina de intercambio iónico iminodiacético se puede eliminar en una configuración de columna múltiple (p. ej., 4 o 6). De nuevo, la presente descripción puede usar la selectividad de un grupo funcional para recoger metales de transición específicamente valiosos. Por ejemplo, como el cobre tiene la mayor afinidad en este ejemplo, el primer metal que se debe eliminar y purificar puede ser el sulfato de cobre. Esto puede conseguirse mediante una sobrecarga controlada del primer depósito de resina en la configuración. Sobrecargar el primer depósito de resina puede dar lugar a una carga de cobre pura o sustancialmente pura en ese depósito. Los siguientes depósitos de resina se pueden conectar en serie, de modo que la llamada columna primaria ahora puede salir de la serie y someterse a la recogida de sulfato de cobre con ácido sulfúrico diluido. La columna anteriormente secundaria ahora puede experimentar el mismo proceso de carga hasta que haya alcanzado una carga de cobre puro o sustancialmente puro. Este proceso es relativamente fácil de controlar ya que el tiempo de carga es una función simple de la concentración de cobre y del volumen bombeado sobre la resina.

Haciendo referencia ahora a la figura 11, se proporciona un diagrama de flujo 1100 que representa operaciones coherentes con el sistema 1000 de extracción y regeneración de la presente descripción. El diagrama de flujo 1100 puede incluir recibir los depósitos de intercambio iónico (resina) del sistema de la parte inicial (1102). Las operaciones pueden incluir además la retirada de la resina de los depósitos de intercambio iónico y la generación de una suspensión de la resina en agua (1104). Las operaciones pueden incluir además proporcionar la suspensión de resina en agua a una banda filtrante a vacío que tiene tres zonas distintas (1106, 1108, 1110). La resina puede moverse desde la zona 1, a la zona 2, a la zona 3, y el ácido de recuperación puede moverse en dirección opuesta a la circulación de la resina, es decir, desde la zona 3 a la zona 2 a la zona 1. Las operaciones pueden incluir además proporcionar la resina de nuevo al sistema de la parte inicial y proporcionar la solución de metal para el enriquecimiento (1112), lo que se expone con más detalle a continuación.

Haciendo referencia ahora a la figura 12, se proporciona una realización de un sistema de purificación 1200 específico para metales. En esta memoria, la solución mezclada, o regenerante, para regeneración del metal del sistema de la figura 10 se puede ajustar y controlar a los niveles de pH necesarios (si es necesario) y luego se bombea a una serie de unidades de purificación de resina de intercambio iónico quelantes, como se muestra en la figura 12.

En algunas realizaciones, el sistema 1200 puede incluir varias (p. ej., 4 o más) unidades de purificación (p. ej., depósitos de resina), que pueden utilizar una resina de intercambio iónico quelante, selectiva o geles silíceos. La disposición puede diseñarse para conseguir una circulación continua de la solución de regeneración a través del sistema 1200. Para cada metal objeto de recuperación, se pueden emplear una o más unidades de regeneración. En la realización concreta representada en la figura 12, tres o más unidades de purificación se cargan con la solución de regeneración en serie. Esto da como resultado la unidad de purificación primaria 1202, la unidad de purificación secundaria 1204 y la unidad de purificación terciaria 1206. Otras configuraciones y números de depósitos también están dentro del alcance de la presente descripción. Además de atrapar y retener un metal preferido en cada unidad de purificación o depósito de resina, el sistema 1200 también puede purificar y aislar satisfactoriamente un metal objeto de recuperación particular. El metal objeto de recuperación enriquecido y purificado, como se absorbe en la resina en las unidades de purificación, se puede recoger a continuación como se describe más adelante con referencia a las figuras 13-14.

En funcionamiento, una vez que una unidad de purificación se desconecta, la unidad de purificación previamente secundaria puede cambiarse a la ruta de circulación como unidad de purificación primaria. Al estar ya parcialmente enriquecida, puede experimentar sobresaturación rápidamente y purificar el metal atrapado en consecuencia. Este puede ser un proceso continuo en el que las unidades de purificación se cambian a la ruta de circulación aguas arriba. Esto puede permitir el funcionamiento de un número limitado de unidades de purificación de forma continua.

La Tabla 1, proporcionada a continuación, representa una realización concreta de la operación del sistema de purificación de metales 1200 de la figura 12. Una vez que el depósito de purificación primario 1202 se ha sobresaturado, el recipiente puede lavarse o inyectar vacío y cambiar a modo de regeneración. El depósito secundario de purificación 1204 anterior ahora puede cambiarse a la posición primaria y el anterior depósito terciario 1206 puede ahora pasar a la posición secundaria y el depósito regenerado 1208 puede ahora cambiar a la posición terciaria. La sobresaturación puede asegurar el desplazamiento de los metales menor afinidad (dependiendo de la composición de metales mezclados y del ligando de intercambio iónico) por el metal de mayor afinidad. De esta forma, pueden alcanzarse purezas de aproximadamente el 99% del metal objeto de recuperación (p. ej., S930, TP207, SIR-1000).

Tabla 1

	Primario	Secundario	Terciario	Regeneración
1	A	B	C	D
2	D	A	B	C
3	C	D	A	B
4	B	C	D	A
5	A	B	C	D

5 En algunas realizaciones, cada una de las unidades de purificación 1202, 1204, 1206, 1208 puede contener resinas de intercambio iónico selectivas y las unidades pueden estar dispuestas en la configuración giratoria descrita en la Tabla 1. Este sistema puede diseñarse para seleccionar selectivamente y capturar un metal utilizando sobresaturación para aprovechar la afinidad relativa intrínseca de la resina a diferentes metales.

10 En algunas realizaciones, durante la sobresaturación, el regenerante puede introducirse continuamente en la primera unidad de purificación 1202 incluso después de que se haya agotado la capacidad efectiva de la resina. Dado que el metal objeto de recuperación de una unidad de purificación particular puede tener una mayor afinidad con la resina, la exposición continua de la resina al regenerante puede hacer que los iones metálicos objeto de recuperación de mayor afinidad se desalojen y reemplacen a otros metales no objeto de recuperación que pueden haber sido capturados en la resina. Después de un volumen designado de sobresaturación, la resina de una unidad de purificación determinada puede contener solo el metal objeto de recuperación por ese módulo. Algunos o todos los otros metales que no son objeto de recuperación por esa unidad de purificación pueden permanecer en la solución regenerante y continuar a la siguiente unidad de purificación, donde el mismo proceso se dirige entonces y captura otro metal. Dependiendo del número de metales en el regenerante de los depósitos de resina de la parte inicial, se puede disponer en serie un número correspondiente de unidades de purificación, dirigiéndose cada una a un metal específico, de manera que todos los metales puedan separarse. De esta manera, los metales individuales de un regenerante de metal mixto pueden identificarse, dirigirse, separarse por captura en la resina y purificarse.

20 Cabe señalar que la capacidad de separar cada una de las fracciones metálicas de un regenerador multimetálico representa una mejora drástica con respecto a los procesos de intercambio iónico existentes, ya que los metales purificados se pueden fabricar directamente en productos finales. Actualmente, los procesos que involucran soluciones de metales mixtos requieren tratamiento adicional y costoso antes de que los productos utilizables puedan recuperarse.

25 En algunas realizaciones, el regenerante de la figura 12 ahora puede ser limpiado de metales y puede efectivamente volver a ser un ácido, aunque a fuerza y concentración más menores y con vestigios de contaminantes. El proceso de intercambio iónico de la figura 12, en el que los metales en el regenerante se intercambian por protones en la resina, también tiene el efecto adicional de regenerar el propio regenerante (ácido) mediante la adición de iones H<sup>+</sup> libres (de la resina de intercambio iónico). Tras salir del sistema 1200, el regenerante puede infundirse con un pequeño volumen de ácido nuevo muy concentrado para restaurar su fuerza y resistencia concentración a niveles casi originales. De esta manera, el regenerante puede reciclarse lego nuevamente en otros sistemas (p. ej., el sistema 1000) varias veces y utilizarse para extraer y regenerar las columnas de la parte inicial. La capacidad de reutilizar repetidamente ácido de esta manera es una mejora significativa con respecto a los procesos de intercambio iónico existentes; en los que el consumo de ácido constituye un gran porcentaje de los costes de operación y la necesidad de descartar grandes cantidades de ácido residual crea una responsabilidad.

35 En algunas realizaciones, una vez que una unidad de purificación primaria (p. ej., la unidad de purificación primaria 1202 en la figura 12) ha alcanzado la sobresaturación y está completamente cargada con un metal objeto de recuperación, puede desconectarse y prepararse para la eliminación y regeneración. La unidad de purificación puede volverse a lavar con agua para eliminar cualquier líquido intersticial, solución de carga residual, sólidos e impurezas, así como para fluidificar el lecho de resina y contrarrestar cualquier compactación. Las aguas de proceso de esta etapa también pueden enviarse a un sistema de la parte inicial in situ o externo para su tratamiento y reciclaje. La reutilización repetida de esta agua de proceso puede constituir una disminución significativa en el consumo de agua y los costos operativos en comparación con los procesos de intercambio iónico existentes.

45 Haciendo referencia ahora a las figuras 13-14, se proporcionan realizaciones que representan un sistema repetitivo de regeneración 1300. Como se expuso anteriormente, los depósitos de intercambio iónico del sistema de la parte inicial pueden extraerse con la banda filtrante a vacío 1006 asociada al sistema 1000. Por el contrario, las unidades de purificación llenas de metal de la figura 12 pueden extraerse usando el sistema de regeneración repetitivo 1300. El sistema 1300 puede utilizar un protocolo de regeneración repetitivo regulado por un sistema automatizado de tratamiento del concentrado basado en un controlador lógico programable.

En algunas realizaciones, el sistema 1300 puede incluir una serie de depósitos de ácido, por ejemplo, el depósito A de ácido 1302, el depósito B de ácido 1304 y el depósito C de ácido 1306. Se puede proporcionar un depósito o columna de purificación 1310 completamente cargado desde el sistema 1200 mostrado en la figura 12. La columna 1310 completamente cargada puede recibir más ácido del depósito 1312 de ácido de la regeneración de reposición y puede proporcionar una salida al depósito 1308 de expansión de producto. En una secuencia posible, el depósito A de ácido 1302 puede bombearse a través de la columna 1310 completamente cargada, introduciéndose en el depósito 1308 (producto final, depósito de compensación de producto) (etapa 1). El depósito B de ácido 1304 se puede bombear a continuación a través de la columna 1310 (etapa 2), seguido por el depósito C de ácido 1306 que se bombea a través de la columna 1310 (etapa 3). El ácido diluido nuevo puede bombearse a continuación a través de la columna 1310 (etapa 4). Después la columna cargada de tratamiento con ácido 1310 puede someterse a lavado con agua para su regeneración completa. La etapa 1 puede vaciarse en el depósito de expansión de producto 1308, la etapa 2 puede vaciarse en el depósito A de ácido 1302, la etapa 3 puede vaciarse en el depósito B de ácido 1304, y la etapa 4 puede vaciarse en el depósito C de ácido 1306.

En algunas realizaciones, cada lote de ácido se puede usar para regenerar a varias unidades de purificación diferentes y cada unidad de purificación se puede regenerar mediante una serie de lotes de ácido de concentración en metal decreciente y en protones libres creciente. Por consiguiente, el primer lote de ácido que debe introducirse en una unidad de purificación saturada (p. ej., la columna 1310) puede ser el que ya se ha usado la mayoría de las veces en relación con los demás lotes dentro de un conjunto de lotes de ácido. Al salir de la unidad de purificación, este lote de ácido puede tener sus concentraciones máximas de metal y mínimas de protón libre, respectivamente. En ese punto, el lote de ácido puede ser eliminado del sistema de regeneración 1300 y ser enviado para el tratamiento final en los productos finales.

En algunas realizaciones, el proceso de regeneración puede continuar de esta manera con cada lote de ácido posterior que se ha utilizado una vez menos que el lote que lo precede. Además del primer lote, que puede enviarse para su tratamiento final en los productos finales, todos los demás lotes pueden almacenarse para su uso con la siguiente columna saturada. El lote final de ácido puede ser ácido nuevo, para asegurar que la resina se ha despojado adecuadamente de los metales y se regenera y reacondiciona adecuadamente para su reutilización. Por ejemplo, haciendo referencia nuevamente a la figura 13, en una serie de cuatro lotes de ácidos, que consiste en un lote de tres regeneraciones en el depósito de ácido 1302, un lote de dos regeneraciones en el depósito de ácido 1304, un lote de una regeneración en el depósito de ácido 1306 y un lote de ácido nuevo en el depósito 1312, el lote de tres regeneraciones puede usarse en primer lugar y luego enviarse para su tratamiento final en los productos finales como se muestra en la figura 15. A continuación, se puede usar el lote de dos regeneraciones, que puede convertirse en el lote de tres regeneraciones para la siguiente columna. El lote de una regeneración se puede utilizar, y luego puede convertirse en el lote de dos regeneraciones para la siguiente columna. Por último, se puede usar el ácido nuevo y puede convertirse en el lote de regeneración para la siguiente columna.

En algunas realizaciones, este protocolo de regeneración puede disminuir notablemente el consumo de productos químicos maximizando la utilización de ácido libre. Esto puede proporcionar una ventaja sustancial sobre los procesos de intercambio iónico existentes que pueden generar grandes volúmenes de ácidos residuales que requieren tratamiento y eliminación adicionales. Como resultado, se puede consumir menos ácido, lo que puede constituir un coste de funcionamiento significativo.

En algunas realizaciones, la alta pureza y la concentración del metal pueden permitir que el regenerante se procese directa y económicamente en un producto químico final de sal metálica, con pocos o ningún subproducto o residuo. De esta manera, las columnas o los depósitos de resina se pueden vaciar y regenerar para su reutilización y el metal objeto de recuperación puede convertirse en una solución de sal metálica muy concentrada y de alta pureza. Este proceso puede ser una mejora significativa con respecto a los procesos de intercambio iónico existentes en el sentido de que el ácido no se puede consumir y descartar como residuo, sino que se convierte en un ingrediente de un producto final comercializable. Esto puede dar como resultado costes de operación sustancialmente más bajos, así como también la eliminación del costoso requisito de manejo y eliminación de ácidos residuales.

Haciendo referencia ahora a la figura 14, se proporciona una realización ilustrativa de un sistema 1400 que incorpora algunos o todos los sistemas 1200 y 1300. El sistema 1400 puede incluir las unidades de purificación 1402, 1404, 1406 y 1408, que pueden diseñarse de manera similar a las descritas anteriormente con referencia a la figura 12. El sistema 1400 puede incluir además depósitos de ácido 1410, 1412, 1414 y 1416, que pueden diseñarse de manera similar a los descritos anteriormente con referencia a la figura 13. Las disposiciones alternativas de unidades de purificación y depósitos de ácido también están dentro del alcance de la presente descripción.

En algunas realizaciones, el sistema 1400 se puede usarse para recuperar sulfatos metálicos de resinas de intercambio iónico iminodiacéticas utilizando un sistema de regeneración repetitivo tal como el descrito anteriormente con referencia a la figura 13. La aplicación de un gradiente de concentración en el ácido de regeneración puede permitir una utilización eficiente de los protones proporcionados, así como minimizar los requisitos de agua de lavado y el control complejo del proceso.

- 5 En algunas realizaciones, el sistema 1400 puede usarse para aplicar el ácido usado para recuperar los iones metálicos puros de la resina de intercambio iónico de una manera múltiple y repetitiva. Además, siempre se sigue con una exposición de ácido menos usado, lo que significa que la regeneración y la limpieza pueden ser cada vez más eficientes en el proceso en curso. Además, los protones libres residuales pueden minimizarse en la solución final de sulfato metálico muy concentrado. Esto se alimenta perfectamente al proceso de cristalización (expuesto en la figura 15) después de la recuperación de sulfato metálico ya que la solubilidad se reduce significativamente en el entorno de pH aumentado.
- 10 En algunas realizaciones, la exposición a múltiples ácidos a través de los depósitos 1410, 1412, 1414 y 1416 también simplifica el lavado de la resina después del tratamiento con ácido. De esta forma, puede quedar menos cobre (u otros metales) en la resina. Como resultado, pueden eliminarse los problemas relacionados con cuándo cortar la fracción de recuperación y cambiar al lavado. En los métodos tradicionales de regeneración de columna, la concentración de metal en el efluente puede aumentar lentamente hasta una concentración máxima (deseada) y luego disminuir durante el transcurso. Toda esta solución normalmente se puede recoger en un depósito. Esto introduce un efecto de dilución que es contraproducente para el deseo de recibir concentraciones más altas de recuperación de metales (es decir, 100-150 g de sal metálica por litro). En la exposición repetida y descrita de la misma columna saturada a soluciones de recuperación preconcentradas y predefinidas, estos frentes y colas de baja concentración del lavado de la columna se evitan y superan. La exposición de la última columna al ácido diluido nuevo proporciona una situación perfecta para enjuagar el ácido libre de la columna con agua de lavado nueva o reciclada antes de volver a cambiar al tren de enriquecimiento. Esta simplificación hace que el proceso de recuperación sea más eficiente.
- 15 En algunas realizaciones, aunque las columnas en el proceso principal pueden estar conectadas en serie, la primera columna (p. ej., la unidad de purificación 1402) en línea (o las columnas primarias) puede estar sobresaturada con iones de cobre. Los iones de cobre, en este ejemplo concreto, pueden eliminar todos los iones metálicos de más baja afinidad.
- 20 En funcionamiento, la columna primaria puede retirarse entonces del sistema una vez que todos los puntos de intercambio iónico han sido ocupados por el metal objeto de recuperación, por ejemplo, los iones de cobre expuestos anteriormente. La columna primaria ahora puede pasar a la sección encargada del concentrado del sistema 1400, concretamente, los depósitos de ácido 1410, 1412, 1414 y 1416. En esta memoria, la solución ácida que ya ha sido expuesta a dos columnas primarias puede bombearse en primer lugar sobre la columna para recibir una solución de protones libre muy enriquecida y poco remanente indicada por el depósito ácido 1416, es decir, regenerante D. La columna puede tratarse entonces con más lavados ácidos desde el depósito de ácido 1412 (es decir, la regenerante B) y el depósito de ácido 1414 (es decir, regenerante A) hasta que se bombea la solución de ácido nuevo sobre la columna. Ahora se puede eliminar todo el cobre y la columna principal puede someterse a un breve lavado con agua. La columna puede estar lista para volver al ciclo de carga.
- 25 En algunas realizaciones, el sistema 1400 puede diseñarse para utilizar los protones suministrados por el ácido de la manera más eficaz posible. El sistema 1400 también puede eliminar la necesidad de controlar el pico de alta concentración que eluye de la columna en el proceso de recuperación de metal. Por lo tanto, el proceso de recuperación global proporciona un método más robusto y simplificado que proporciona una solución de alimentación mucho mejor, más concentrada y menos ácida para la cristalización de sales metálicas.
- 30 Haciendo referencia ahora a la figura 15, se proporciona un sistema 1500 diseñado para procesar sales metálicas comerciales. En el sistema 1500, los concentrados de sales metálicas del sistema 1400 pueden procesarse en sales metálicas de calidad comercial usando procesos, que pueden incluir, pero sin limitación, evaporación al vacío, cristalización y secado por pulverización. Las técnicas empleadas pueden depender de las características y especificaciones deseadas para el producto. La alta pureza y concentración del concentrado pueden permitir una producción muy económica de una amplia gama de especificaciones dependiendo de la demanda del cliente. Después de someterse a controles de calidad, el producto final puede empaquetarse y enviarse a clientes u otras redes de distribución.
- 35 En algunas realizaciones, el sistema 1500 puede incluir un recipiente receptor 1502, que puede estar diseñado para recibir y/o almacenar la salida del sistema 1400. La solución de metales puede transferirse desde el recipiente de recepción 1502 a la cámara de evaporación 1504. El agua eliminada de la cámara de evaporación 1504 se puede redistribuir a cualquiera de los otros sistemas de la presente descripción. La salida de la cámara de evaporación 1504 puede aportarse al cristizador 1506, que puede estar operativamente conectado a la máquina de enfriamiento 1508.
- 40 En algunas realizaciones, los sulfatos metálicos se recuperan en las unidades principales de tratamiento como soluciones de sulfato metálico de alta concentración. El cristizador 1506 puede utilizar diversas técnicas de cristalización para recuperar los sulfatos metálicos como productos sólidos. Esto puede conseguirse enfriando los sulfatos metálicos muy concentrados, lo que puede reducir la solubilidad a un nivel donde los sulfatos metálicos sólidos comienzan a cristalizar. Los sulfatos metálicos cristalizados resultantes pueden depositarse en el depósito de cristalización final 1510. Los sulfatos metálicos cristalizados pueden luego enviarse a la cámara de electrodeposición 1510. La cámara de electrodeposición 1510 puede implicar diversos procesos utilizados para
- 45
- 50
- 55
- 60

extraer los metales objeto de recuperación. Debe observarse que los sistemas de la presente descripción se pueden usar para producir sales metálicas, que pueden ser mucho más lucrativas que la producción de productos metálicos o elementales. Por ejemplo, los sulfatos metálicos, como el pentahidrosulfato de cobre, se pueden volver a alimentar directamente a la fabricación de placas de circuitos impresos, galvanizado, la fabricación de chips y muchos otros procesos. Para el sulfato de cobre, la masa recuperada como sulfato puede ser aproximadamente cuatro veces más que el metal puro. Cabe señalar que, aunque la figura 15 representa principalmente cobre como metal, los sistemas de la presente descripción pueden funcionar con cualquier cantidad de metales. Algunos otros metales incluyen, pero no están limitados a, níquel, cinc, etc.

En algunas realizaciones, los procesos de la instalación de tratamiento principal pueden controlarse mediante detectores y ordenadores vinculados a un sistema central de programa informático de base de datos, que puede registrar continuamente todos los parámetros de operación, criterios, rendimiento y resultados en tiempo real. Junto con los datos de las etiquetas RFID de la columna de la parte inicial, estos datos pueden ser evaluados mediante un programa informático de extracción de datos para identificar tendencias y parámetros de operación óptimos para las diversas categorías de columnas de la parte inicial que llegan a la instalación de tratamiento principal. El mismo o similar programa informático también puede analizar los parámetros de operación de los procesos de la instalación de tratamiento principal. A medida que la base de datos acumula información a lo largo del tiempo, es posible que pueda recomendar parámetros de operación optimizados para la clasificación y regeneración de columnas de la parte inicial, los parámetros de carga y vaciado del módulo de metal objeto de recuperación y la eficiencia general del proceso; reduciendo aún más los costos y el consumo de productos químicos.

Como se expuso anteriormente, las realizaciones de la presente descripción pueden utilizar un sistema de seguimiento y control de RFID. Por ejemplo, y haciendo referencia nuevamente a la figura 3, los depósitos individuales de intercambio iónico 302A-G pueden rastrearse y controlarse utilizando un sistema de identificación por radiofrecuencia (RFID) en red. Cada depósito de intercambio iónico puede estar equipado con una etiqueta RFID única capaz de registrar y almacenar al menos una característica relacionada con el depósito. Para los fines de esta descripción, el término "característica" puede referirse a las características físicas, químicas e históricas de un determinado depósito de intercambio iónico. Una red de lectores de RFID portátiles, montados en camiones y basados en la fábrica pueden conectarse de forma inalámbrica a un sistema de programa informático de gestión de activos, que puede estar situado en la instalación central o en otro lugar, y reflejado en la sede corporativa. Este sistema puede permitir el seguimiento simultáneo en tiempo real de miles de depósitos de intercambio iónico a través de cada etapa del proceso en servicio. Esto puede dar como resultado eficiencias maximizadas para tareas tales como el transporte de intercambio iónico, la programación de intercambio, control de la degradación de la resina y la categorización de depósitos de intercambio iónico similares para la retirada y regeneración de lotes. El ahorro de costes también puede realizarse a partir de la prevención de errores de funcionamiento asociados a la identificación incorrecta de columna/resina. Esta base de datos histórica se puede actualizar en tiempo real y puede operar junto con un sistema de programa informático de optimización de procesos basado en lógica difusa para mejorar continuamente las eficiencias de operación.

En algunas realizaciones, en la instalación central del proceso principal, por ejemplo, los parámetros de operación tales como la selección y dosificación de reactivos, la composición del lote de resina, las eficiencias de regeneración y la calidad del producto pueden registrarse y gestionarse mediante un sistema de programa informático basado en lógica difusa. Esta información, junto con los datos recopilados del Sistema de gestión de RFID se pueden incorporar en una base de datos unificada que contiene una contabilidad histórica detallada de cada parámetro operativo del proceso del servicio. El sistema de lógica difusa puede extraer continuamente esta base de datos para identificar parámetros óptimamente eficientes y presentar los parámetros de proceso sugeridos a los técnicos. El sistema puede "aprender" de cada depósito de intercambio iónico procesado de tal manera que a medida que la base de datos crece con el tiempo, puede identificar el conjunto de parámetros más eficiente para procesar cualquier depósito o conjunto de depósitos de intercambio iónico. Por consiguiente, cuando un camión que transporta depósitos de intercambio iónico saturados entra en la instalación central, y antes de que el conductor apague el motor, el sistema sabrá exactamente qué depósitos de intercambio iónico han llegado, de qué cliente es cada depósito de intercambio iónico, cuánto tiempo el depósito de intercambio iónico estuvo en servicio, y cómo deben clasificarse. Desde la base de datos, el sistema puede revisar los datos históricos de cada depósito de intercambio iónico, incluidas variables tales como las concentraciones relativas de metales y los reactivos de regeneración. Comparando los resultados de cada conjunto previo de parámetros, el programa informático puede identificar a continuación el conjunto óptimo para el proceso más eficiente y rentable del depósito de intercambio iónico. El sistema también puede aplicar los mismos procesos para refinar los parámetros de operación del proceso principal y de producción del producto. Los datos y los parámetros optimizados del proceso pueden minimizar la curva de aprendizaje para las nuevas instalaciones centrales, así como la expansión internacional.

En algunas realizaciones, las enseñanzas de la presente descripción pueden ser muy adecuadas para procesar las aguas de lavado de las industrias de galvanoplastia y de acabado de superficies. El objetivo principal de la galvanoplastia puede ser depositar una capa de un metal que posee una propiedad deseada, tal como su aspecto estético, dureza, conductividad eléctrica o resistencia a la corrosión, sobre la superficie de un material que carece de dichas propiedades. Normalmente, el material que se galvaniza puede ser otro metal, tal como acero o cinc; aunque pueden galvanizarse también otros materiales como el plástico. Las piezas que se galvanizan pueden variar desde artículos corrientes como tornillos, clavos, botones y cremalleras, y artículos industriales como componentes del

motor, álabes de la turbina, pistones hidráulicos y componentes aeroespaciales, hasta elementos de alta tecnología como circuitos integrados, discos de datos, y laminados revestidos de cobre utilizados en placas de circuitos impresos.

5 La galvanoplastia, técnicamente un proceso conocido como electrodeposición, puede conseguirse girando la pieza que se va a galvanizar en un cátodo haciendo pasar una carga negativa a través de ella, y a continuación sumergiéndola en un electrolito (o baño de galvanizado) compuesto por sales metálicas disueltas tales como  $\text{CuSO}_4$ ; el metal que se va a galvanizar efectivamente se convierte en el ánodo. En solución, los metales disueltos pueden existir en forma iónica con una carga positiva y, por lo tanto, son atraídos por las partes con carga negativa. Cuando una corriente continua, normalmente alimentada por un rectificador, circula a través del circuito, los iones metálicos se reducen en el cátodo (parte) y salen. A medida que continúa el proceso, la composición del 10 baño de galvanizado puede cambiar a medida que se retiran los metales de la solución. Por consiguiente, los baños deben mantenerse con la adición de ingredientes complementarios. Mientras que algunos baños pueden mantenerse indefinidamente, otros (especialmente cuando se requiere precisión) deben vaciarse periódicamente y reemplazarse por un baño nuevo; la descarga de baños de galvanizado gastados es una fuente importante de aguas residuales. Esto no es accesible para este proceso sin dilución de baño exhaustiva antes del tratamiento.

Una vez el galvanizado ha alcanzado el grosor deseado, las piezas pueden retirarse del baño de galvanizado y pueden proceder a través de una serie de depósitos de lavado en una disposición de flujo a contracorriente. Se puede suministrar agua nueva desde el depósito final, y agua de lavado contaminada del primer depósito puede descargarse continuamente. El lavado completo puede ser esencial, ya que cualquier solución de galvanizado residual puede producir opacidad, imperfecciones u otras irregularidades en la superficie; dando lugar a menudo al 20 empleo y descarga de grandes volúmenes de agua. A medida que las partes salen del baño de galvanizado, "arrastran" la solución de galvanizado aún adherida a sus superficies. Este arrastre es una de las razones principales por las que las aguas de lavado están tan fuertemente contaminadas por metales pesados.

En algunas realizaciones, para procesar estas aguas de lavado galvánicas y baños de galvanoplastia gastados, se puede instalar un sistema de la parte inicial en el lugar que contiene un volumen adecuado de resina de intercambio iónico (alojado en columnas o depósitos) con relación al volumen diario de aguas de lavado y la concentración de metales. Cada etapa del proceso puede tratar o eliminar contaminantes en el agua residual, con los metales 25 capturados en las columnas.

En algunas realizaciones, al salir del sistema de la parte inicial, el agua tratada podría reciclarse a continuación en el proceso de lavado. Si el requisito de calidad del agua del proceso de electrodeposición así lo requiere, el agua tratada podría procesarse más con una ósmosis inversa o un sistema de desmineralización tradicional antes de la reintroducción en el proceso de lavado. Las columnas saturadas de la parte inicial pueden ser reemplazadas por columnas recién regeneradas, y enviarse luego a una instalación central de tratamiento para arrastre con aire y regeneración. Los metales extraídos pueden luego someterse al proceso de separación y purificación (como se describió anteriormente), y a continuación procesarse en productos finales comercializables. Las realizaciones de la presente descripción pueden conferir los beneficios del reciclaje de aguas residuales *in situ*, así como la recuperación de metales, a un costo menor que las alternativas disponibles actualmente.

Las realizaciones de la presente descripción pueden utilizar un proceso de múltiples etapas para recoger, transportar y tratar aguas residuales que tienen diversos metales. Más específicamente, esta descripción se refiere a un sistema de tratamiento y reciclado de aguas residuales basado en el intercambio iónico para el tratamiento de aguas residuales portadoras de metales, compuesto por una unidad independiente de la parte inicial situada en el sitio de generación de aguas residuales, y una instalación central de tratamiento donde los componentes del módulo de la parte inicial se recogen y procesan. Después del tratamiento, las aguas residuales que salen de la invención pueden ser adecuadas para el reciclaje o la descarga legal, mientras que los metales se recogen, separan, purifican y procesan en productos finales. Como lo requieren las consideraciones económicas, reglamentarias u otras, la 45 instalación central de tratamiento también puede estar situada en el mismo sitio que el sistema de la parte inicial.

En la etapa uno, los metales pueden ser eliminados de las resinas y las resinas regeneradas a su forma protónica original mediante una innovadora unidad de banda filtrante a vacío de cinta transportadora (como se muestra en la figura 10); que puede utilizar una configuración en cascada para minimizar el consumo de agua de lavado y mejorar el control sobre los parámetros de operación. Después de la extracción en cada una de sus columnas o depósitos de intercambio iónico, la resina se puede extender en una banda filtrante que se desplaza a través de una serie de zonas, cada una con una etapa de proceso separada (p. ej., lavado, extracción y regeneración). Después de someterse a la etapa uno de tratamiento, las resinas pueden regenerarse a su forma protónica original y estar listas para su reutilización en unidades de la parte inicial, mientras que los metales pueden eliminarse en una solución para su posterior tratamiento en la etapa dos.

En la etapa dos, la solución de regeneración de metales mezclados, o regenerante, de la etapa uno puede ser bombeada a una serie de unidades de purificación de resina de intercambio iónico quelante; cada una consistente en un número de columnas o depósitos, dispuestos en una configuración de carrusel, y cargados con resinas de intercambio iónico selectivas. Cada unidad de purificación puede dirigirse selectivamente y capturar un metal 60 utilizando supersaturación para aprovechar la afinidad relativa intrínseca de la resina a diferentes metales. Al

disponer varias unidades de purificación en serie, se pueden extraer cada una de las fracciones metálicas del regenerante de metal mixto.

5 Una vez que una columna en una unidad de purificación concreta alcanza supersaturación, puede entonces sacarse de servicio, despojarse de los metales y regenerarse utilizando un proceso de regeneración repetitivo innovador controlado por una sección encargada del concentrado automatizada como se muestra en las figuras 12-14. En este proceso, cada lote de ácido puede usarse para regenerar a varias columnas diferentes y cada columna puede ser regenerada por una serie de lotes de ácido de concentración decreciente en metal y creciente en protones libres. Esto puede ocasionar un consumo notablemente reducido de productos químicos y una solución de regeneración de alta concentración y pureza. La alta pureza y concentración del metal puede permitir que el regenerante de la etapa dos se procese directa y económicamente en un producto final químico de sal metálica. En la etapa tres, el regenerante de un solo metal de la etapa dos puede procesarse directamente en productos finales comercializables empleando procesos tales como evaporación a vacío, cristalización y secado por atomización como se muestra en la figura 15.

15 Algunas de las realizaciones (p. ej., las asociadas con el sistema de seguimiento y control de RFID) descritas anteriormente pueden llevarse a cabo en un producto de programa informático que puede almacenarse en un medio de almacenamiento con instrucciones que cuando son ejecutadas por un procesador realizan el proceso de mensajería descrito en la presente memoria. El medio de almacenamiento puede incluir, pero sin limitarse a, cualquier tipo de disco, incluidos disquetes, discos ópticos, discos compactos de memoria de solo lectura (CD-ROM), discos compactos reescribibles (CD-RW) y discos magneto-ópticos, dispositivos semiconductores tales como memorias de solo lectura (ROM), memorias de acceso aleatorio (RAM) tales como las RAM dinámicas y estáticas, memorias de solo lectura programables borrables (EPROM), memorias de solo lectura programables borrables eléctricamente (EEPROM), memorias ultrarrápidas, tarjetas magnéticas u ópticas, o cualquier tipo de medio adecuado para almacenar instrucciones electrónicas. Pueden llevarse a cabo otras realizaciones como módulos de programa informático ejecutados por un dispositivo de control programable.

25 La terminología utilizada en esta memoria tiene el propósito de describir determinadas realizaciones solamente y no pretende ser restrictiva de la invención. Como se usa en la presente memoria, las formas singulares "un", "una", "el" y "la" se pretende que incluyan también las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Debe entenderse además que los términos "comprende" y/o "que comprende", cuando se emplean en esta memoria, especifican la presencia de características, enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes indicados, pero no excluyen la presencia o adición de una o más de sus características, enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos.

30 Debe observarse que algunas dimensiones, tamaños, longitudes, cantidades de dosificación, densidades, caudales, agentes dosificadores, etc., se proporcionan meramente a modo de ejemplo y no se pretende limitar el alcance de la presente descripción. Por ejemplo, algunas dimensiones o tamaños enumerados en cualquiera de las figuras se proporcionan meramente a modo de ejemplo, ya que los expertos en la técnica pueden variar estos tamaños.

35 Se han descrito varias aplicaciones. Sin embargo, debe entenderse que pueden hacerse varias modificaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de tratamiento de aguas residuales que comprende:
  - 5 un sistema de banda filtrante a vacío diseñado para recibir resina de un depósito de resina saturada de un sistema de la parte inicial, el sistema de banda filtrante a vacío diseñado para generar una suspensión del depósito de resina saturada y proporcionar un lavado de resina en cascada a la suspensión, generando una solución metálica; caracterizado por que se proporciona
  - 10 un sistema de purificación específico de metales, en donde el sistema de purificación específico de metales comprende diversas unidades de purificación dispuestas en serie, configuradas para generar una unidad de purificación supersaturada con un metal objeto de recuperación bombeando la solución metálica a través de la diversidad de unidades de purificación;
  - un sistema de regeneración repetitivo diseñado para recibir la unidad de purificación cargada con el metal objeto de recuperación desde el sistema de purificación específico del metal, sistema de regeneración repetitivo diseñado además para aplicar sucesivamente los contenidos de diversos depósitos de ácido a la unidad de purificación cargada con el metal objeto de recuperación para generar una sal metálica.
- 15 2. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, en donde la diversidad de depósitos incluye tres depósitos de ácido.
3. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, en donde al menos uno entre un ácido, un agente oxidante y un agente reductor de cada uno de la diversidad de depósitos se bombea a través de la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación en un orden preseleccionado.
- 20 4. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 2, en el que cada uno de la diversidad de depósitos incluye una concentración de ácido diferente con concentraciones variables de sales de metales objeto de recuperación acumulados.
5. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, en donde la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación incluye al menos una de cobre, níquel, cinc y una resina de intercambio iónico.
- 25 6. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 5, en donde la resina de intercambio iónico se selecciona del grupo que consiste en una resina de intercambio iónico iminodiacético, gel de sílice, gel de sílice modificado químicamente y un soporte inorgánico.
7. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, en donde el sistema de regeneración repetitiva está diseñado para proporcionar una salida a un depósito de compensación de producto.
- 30 8. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 1, en donde el ácido usado con mayor frecuencia se incluye dentro de al menos uno de la diversidad de depósitos, aplicándose el ácido usado más frecuentemente en primer lugar a la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación.
9. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 2, en donde un primer depósito está diseñado para administrar ácido a la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación, un segundo depósito está diseñado para administrar al primer depósito, y un tercer depósito de ácido está diseñado para administrar al segundo depósito.
- 35 10. El sistema de tratamiento de aguas residuales de la reivindicación 9, que comprende además un depósito de compensación de producto diseñado para recibir un efluente procedente del primer depósito que se vacía en la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación.
- 40 11. Un método para tratar aguas residuales que comprende:
  - recibir resina de un depósito de resina saturada de un sistema de la parte inicial en un sistema de banda filtrante a vacío;
  - generar una suspensión del depósito de resina saturada;
  - 45 proporcionar un lavado de resina en cascada a la suspensión; generando una solución del metal; caracterizada por que el método comprende las etapas siguientes:
    - 50 generar una unidad de purificación supersaturada con un metal objeto de recuperación en un sistema de purificación específico de metales, en donde el sistema de purificación específico de metales comprende diversas unidades de purificación dispuestas en serie y la unidad de purificación supersaturada con el metal objeto de recuperación se genera bombeando la solución del metal a través de diversas unidades de purificación;

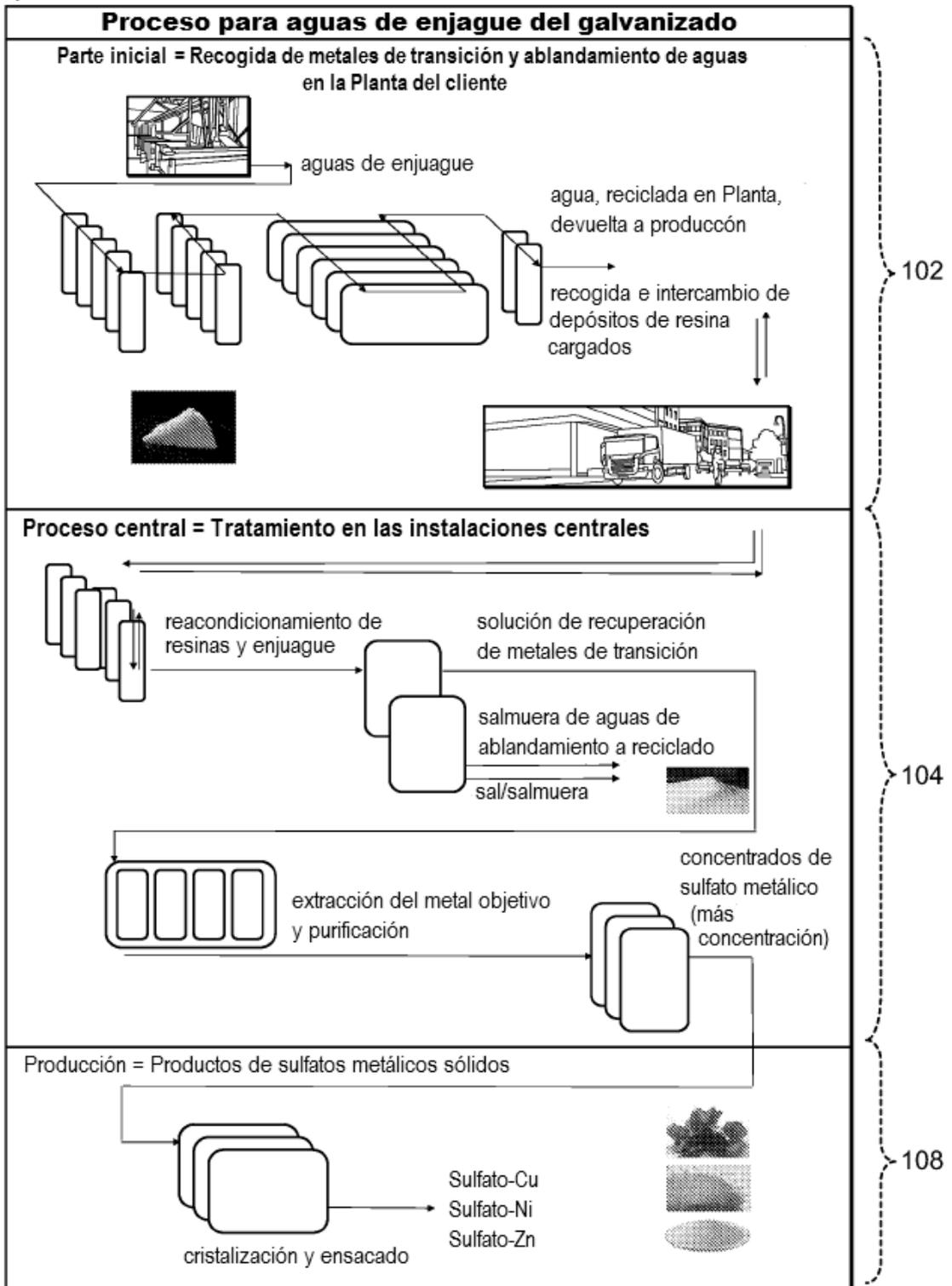
recibir la unidad de purificación cargada con el metal objeto de recuperación del sistema de purificación específico del metal en un sistema de regeneración repetitivo; y

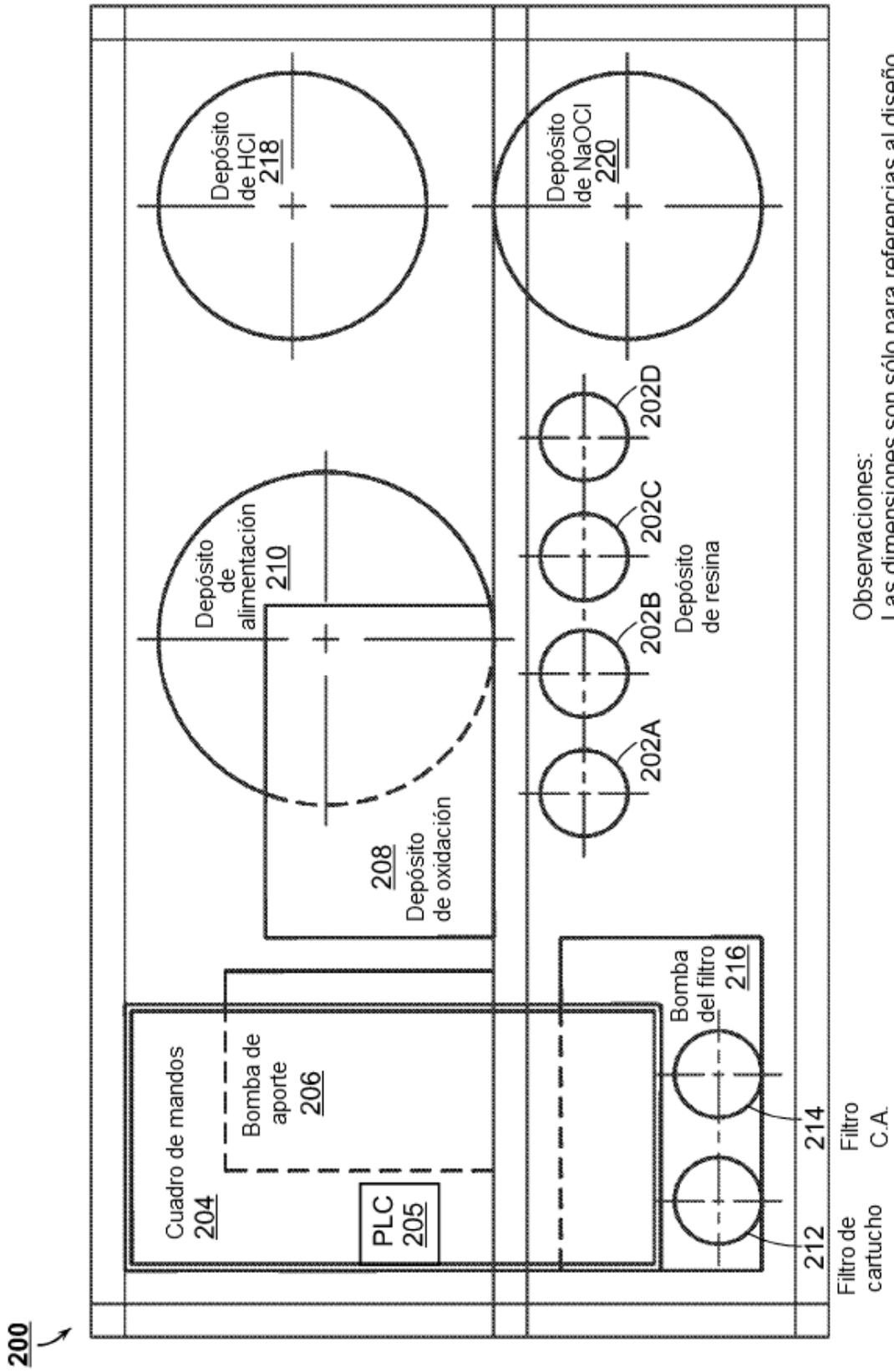
aplicar sucesivamente, en el sistema de absorción repetitiva, los contenidos de diversos depósitos de ácido a la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación para generar una sal metálica.

- 5 12. El método de la reivindicación 11, en donde la diversidad de depósitos de ácido incluye tres depósitos de ácido.
13. El método de la reivindicación 11, que comprende además bombear al menos uno de entre un ácido, un agente oxidante y un agente reductor desde cada uno de los diversos depósitos de ácido a través de la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación en un orden preseleccionado.
- 10 14. El método de la reivindicación 12, en donde cada uno de los diversos depósitos de ácido incluye una concentración diferente de ácido con niveles variables, acumulados de sales metálicas objeto de recuperación.
- 15 15. El método de la reivindicación 11, en donde la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación incluye al menos uno de cobre, níquel, cinc y una resina de intercambio iónico.
16. El método de la reivindicación 15, en donde la resina de intercambio iónico se selecciona del grupo que consiste en: una resina de intercambio iónico iminodiacética, gel de sílice, gel de sílice modificado químicamente y un soporte inorgánico.
17. El método de la reivindicación 11, que proporciona una salida a un depósito de compensación de producto a través del sistema de regeneración repetitivo.
- 20 18. El método de la reivindicación 11, que comprende además incluir un ácido usado más frecuentemente en al menos uno de los diversos depósitos y aplicar en primer lugar el ácido usado más frecuentemente a la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación.
19. El método de la reivindicación 12, que comprende además administrar ácido desde un primer depósito a la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación, administrar ácido desde un segundo depósito al primer depósito, y administrar ácido desde un tercer depósito de ácido al segundo depósito.
- 25 20. El método de la reivindicación 19, que comprende además recibir un efluente procedente del primer depósito que se vacía en la unidad de purificación cargada con un metal objeto de recuperación en un depósito de compensación de producto.

100

FIG. 1





Observaciones:

Las dimensiones son sólo para referencias al diseño.  
 Las dimensiones reales se basarán en el diseño detallado específico de la aplicación.

**FIG. 2**

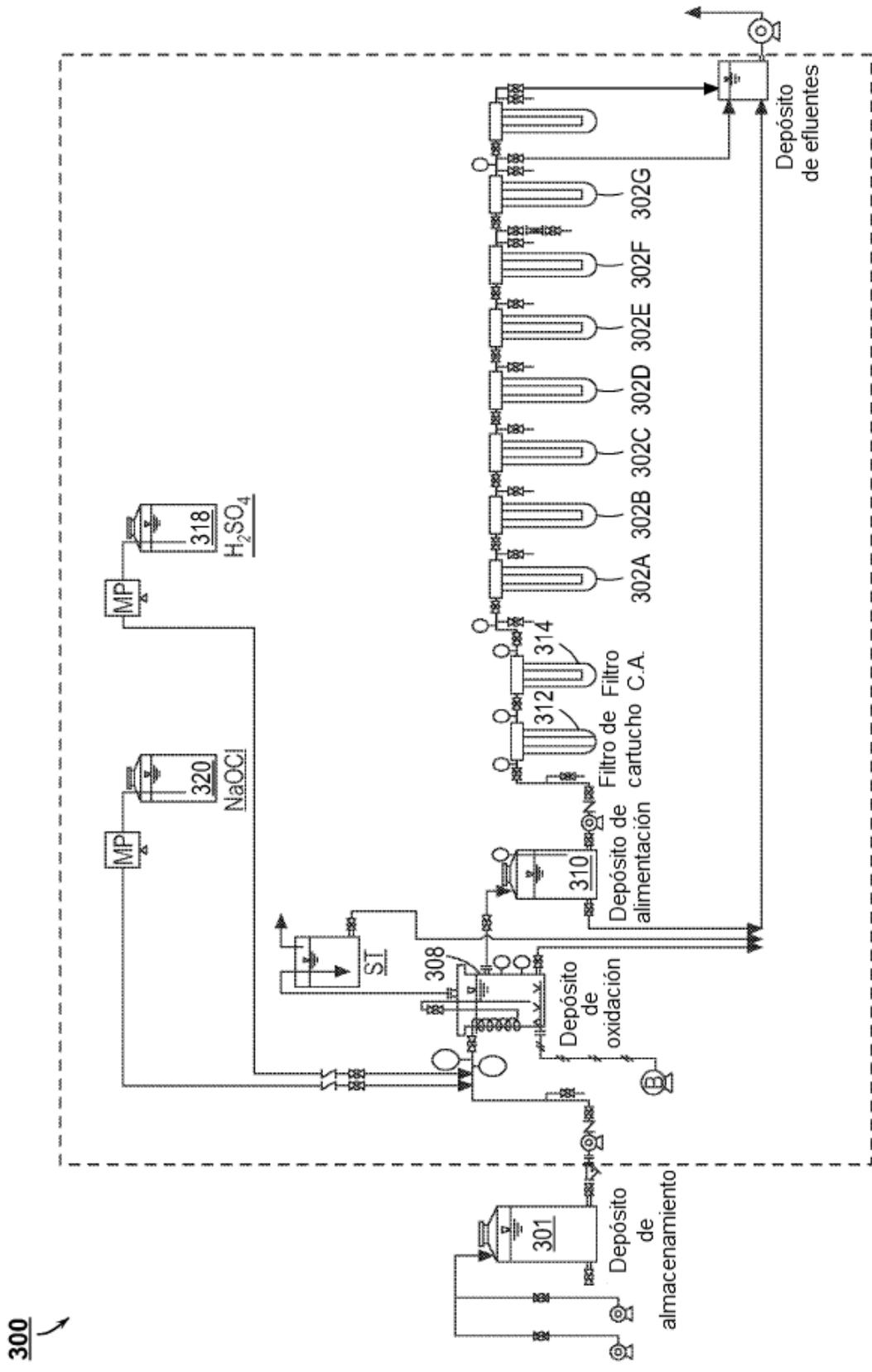


FIG. 3

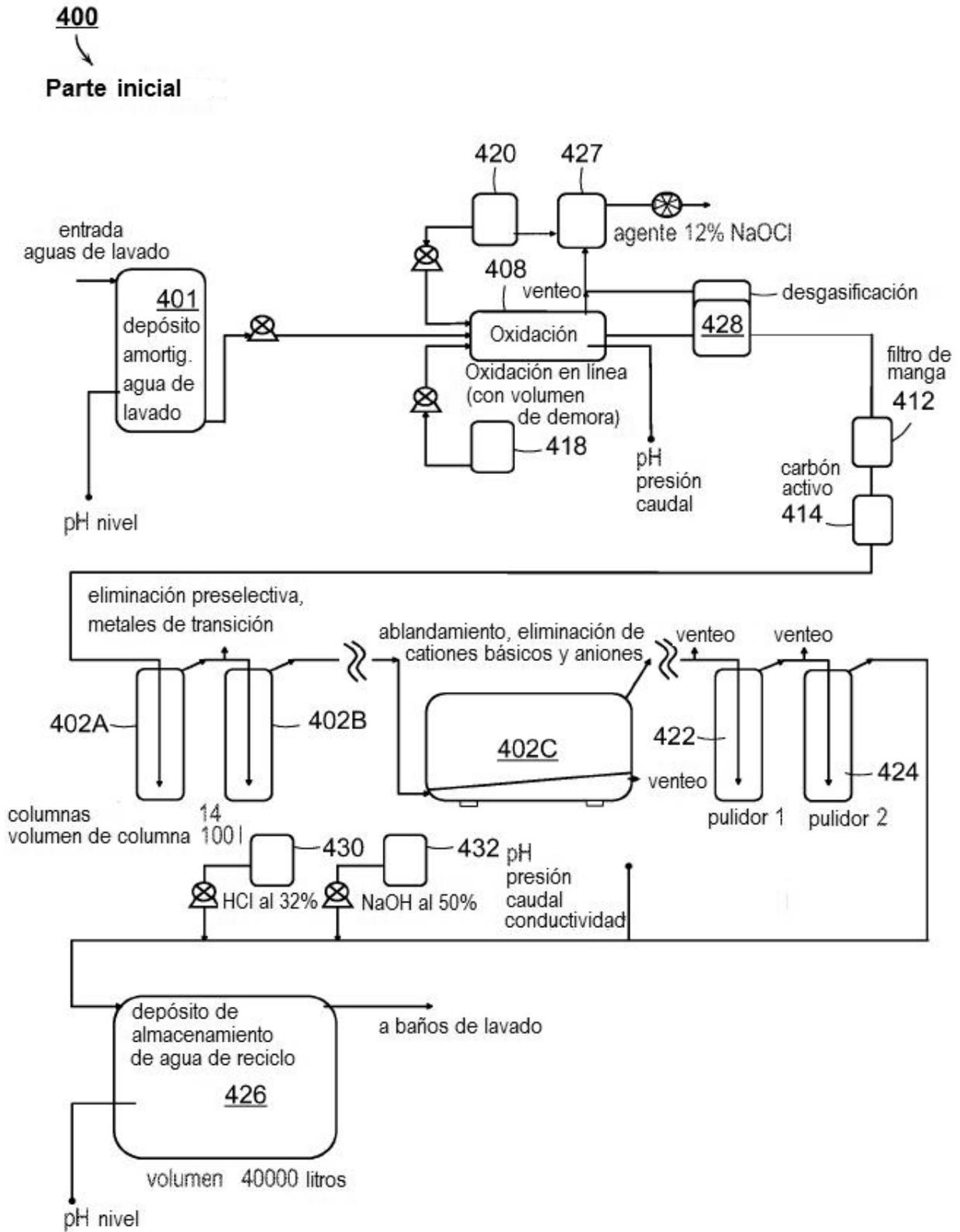


FIG. 4

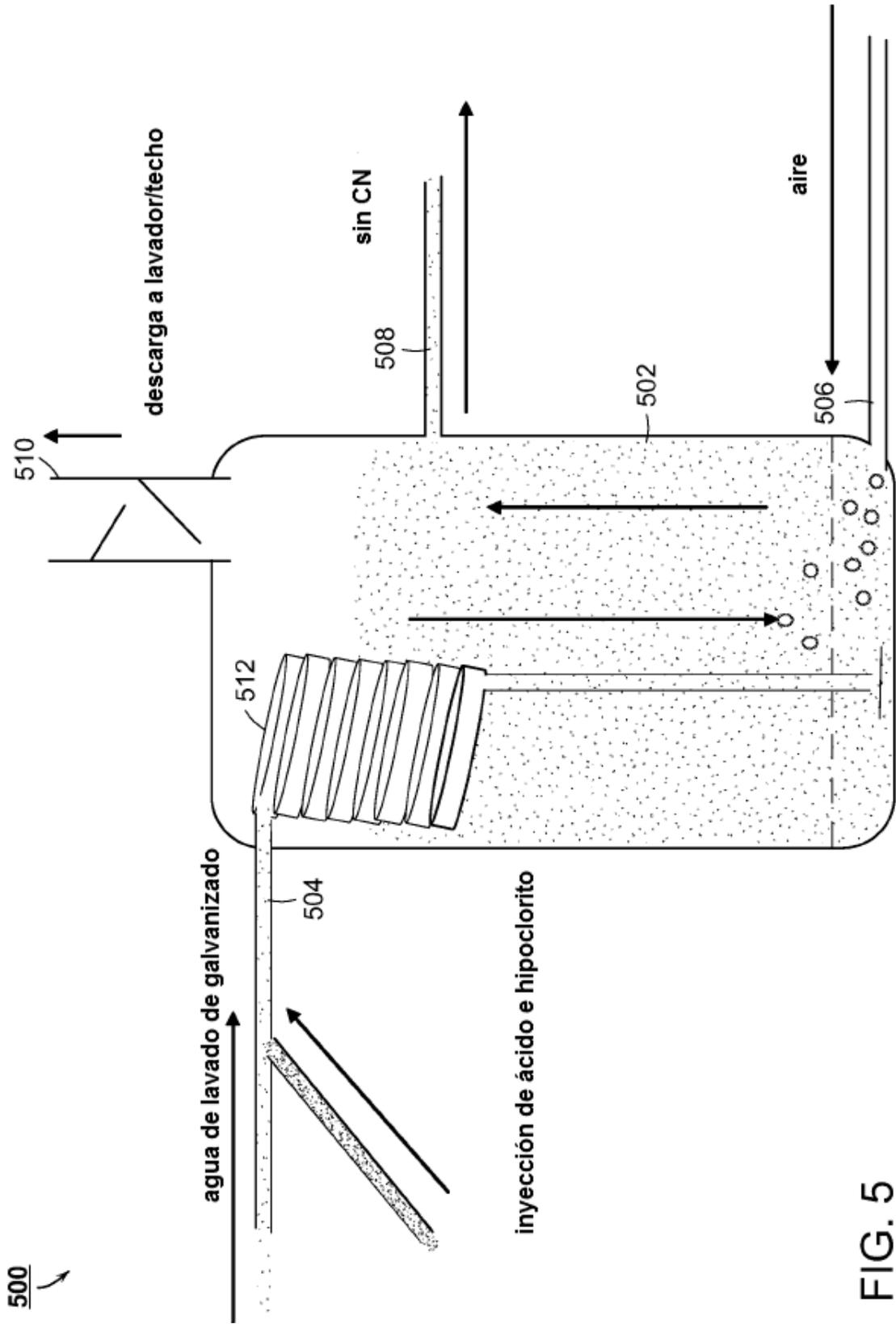
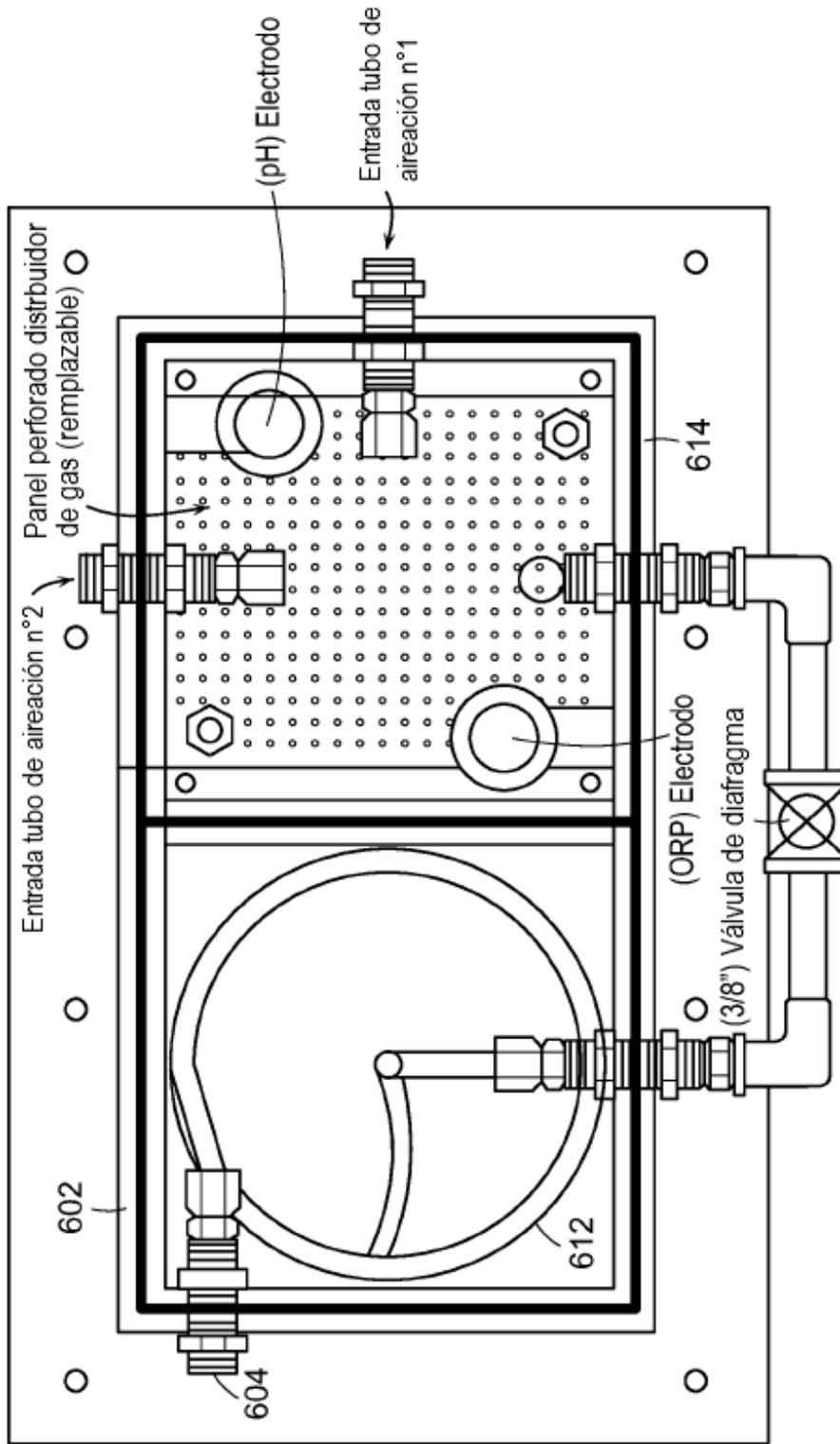


FIG. 5

600 ↗



Vista superior del reactor de oxidación

FIG. 6

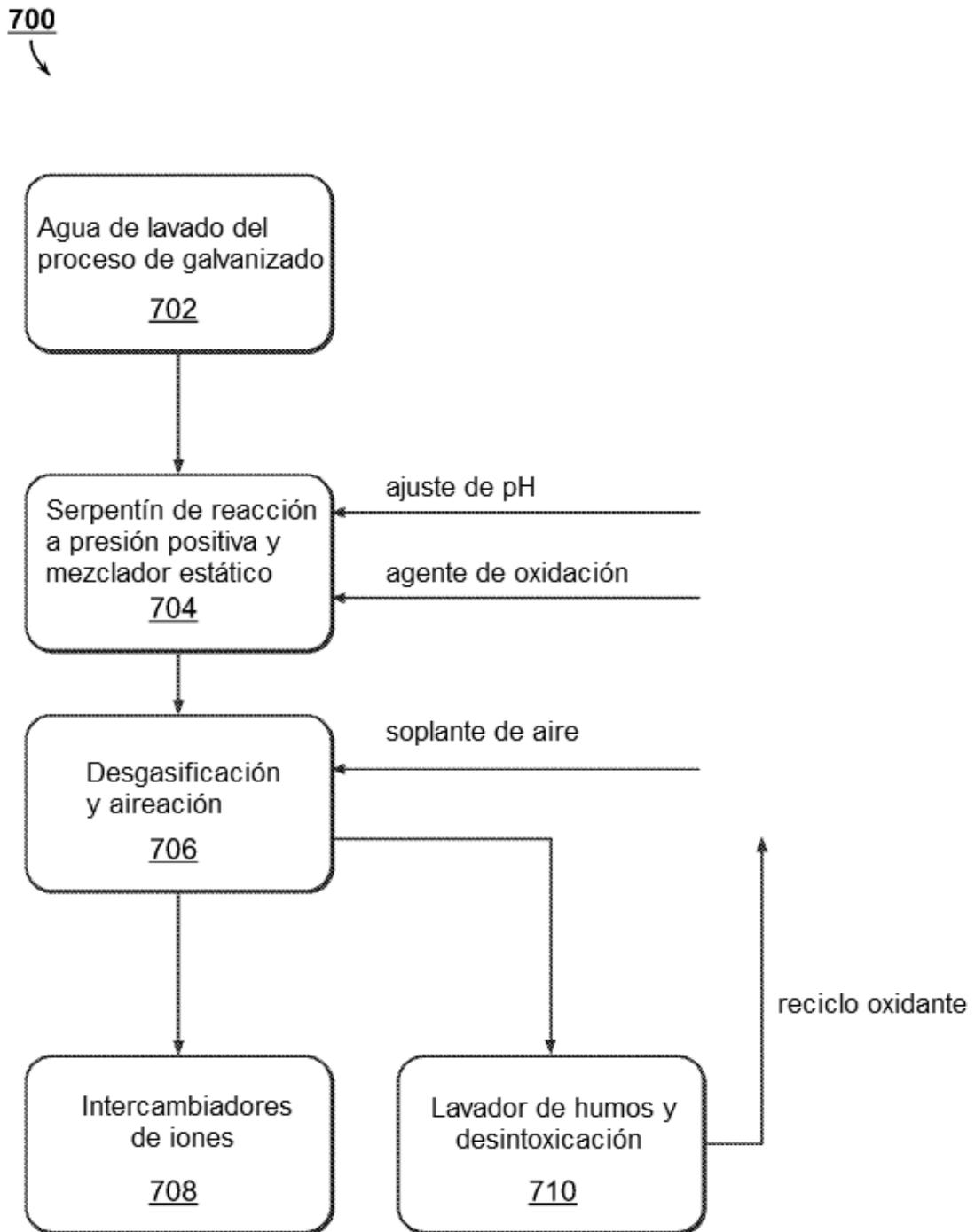


FIG. 7

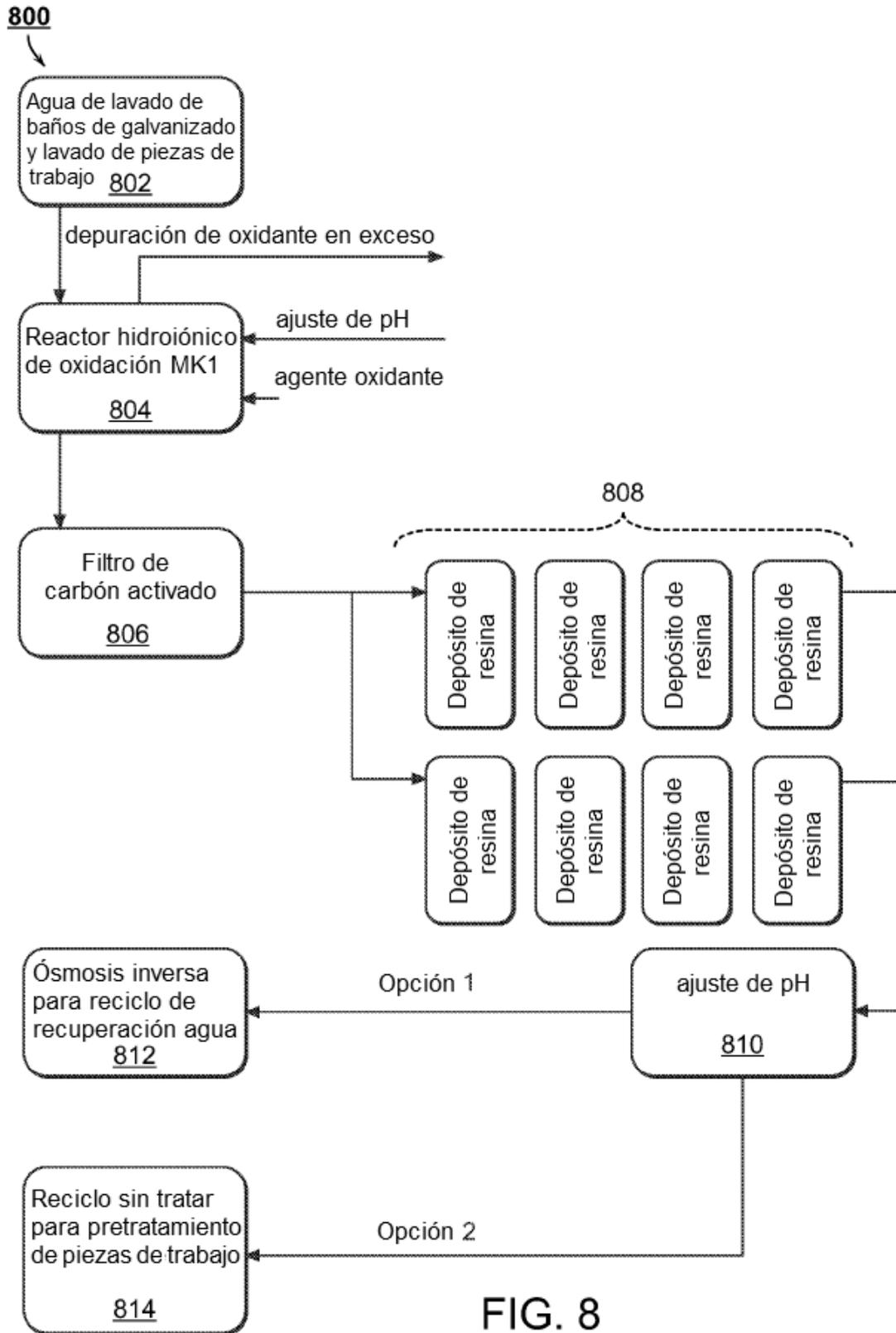


FIG. 8

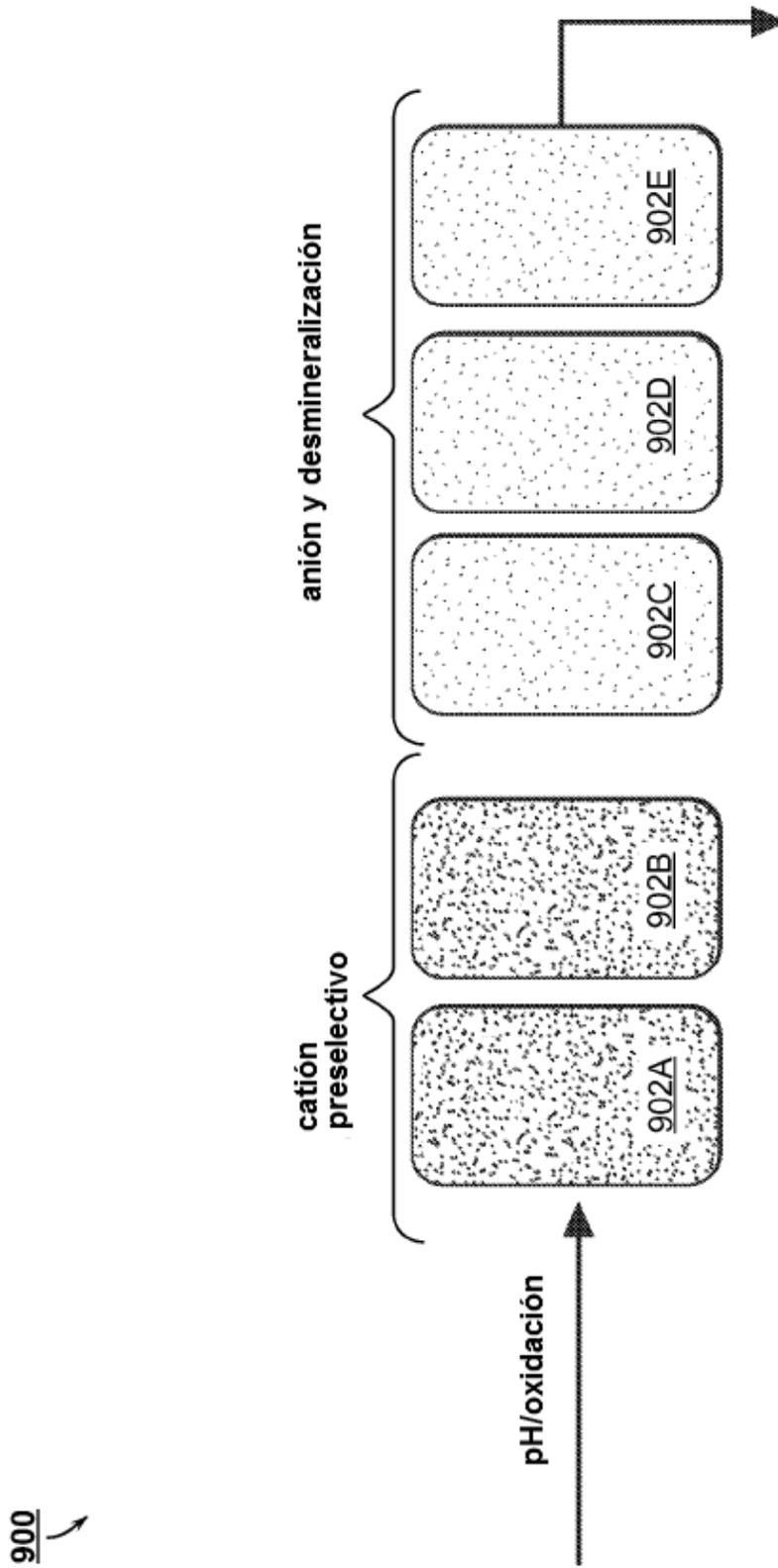


FIG. 9

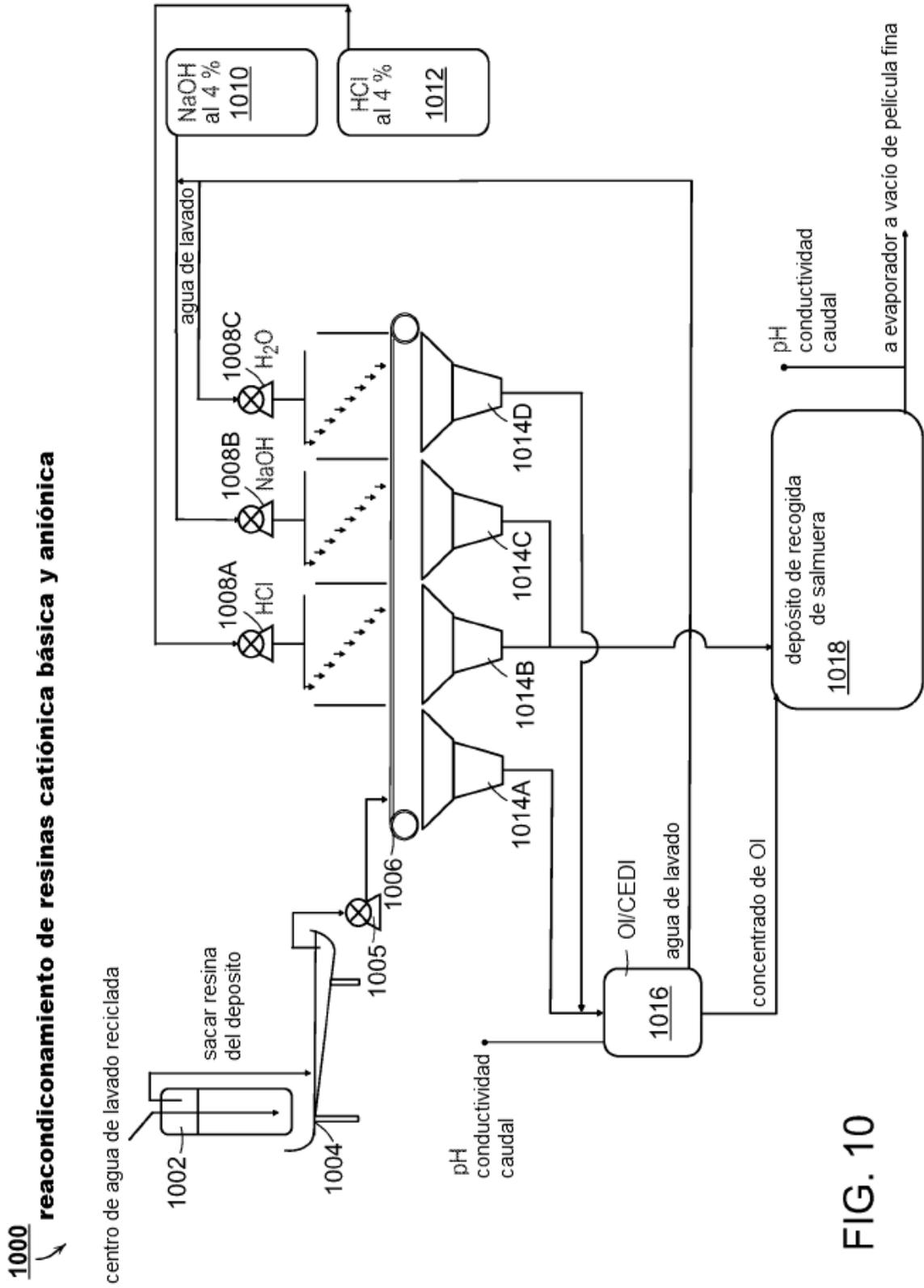


FIG. 10

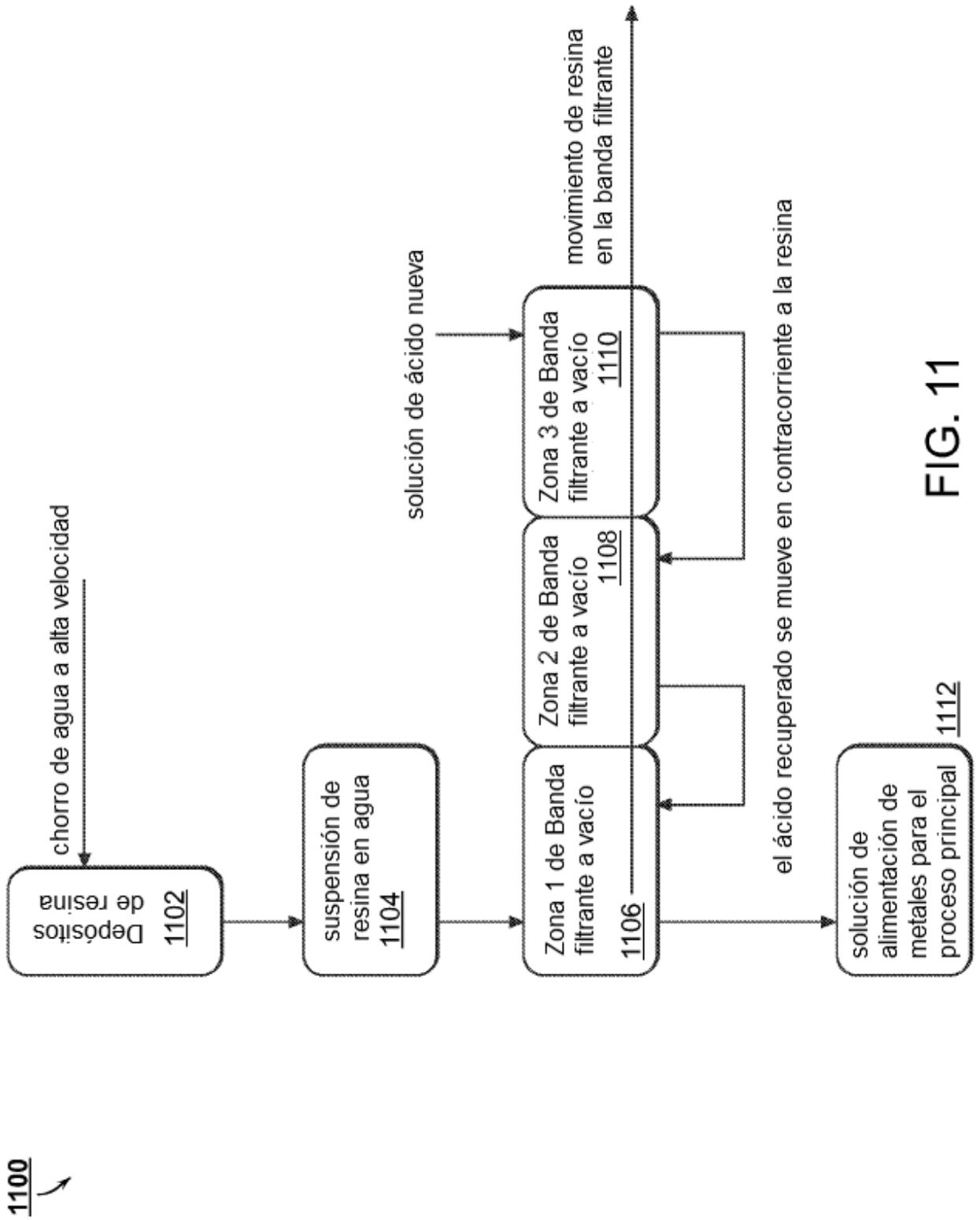


FIG. 11

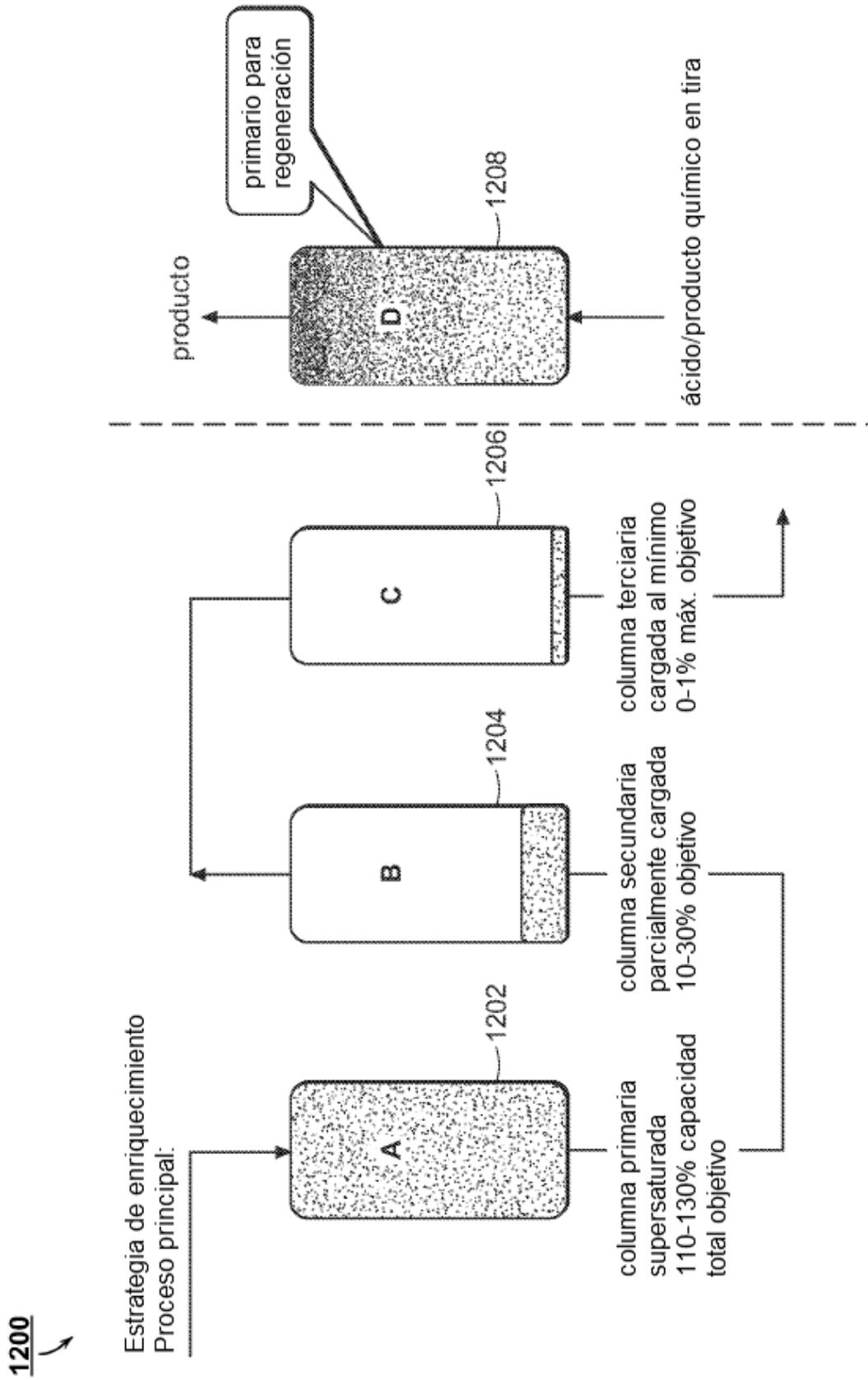


FIG. 12

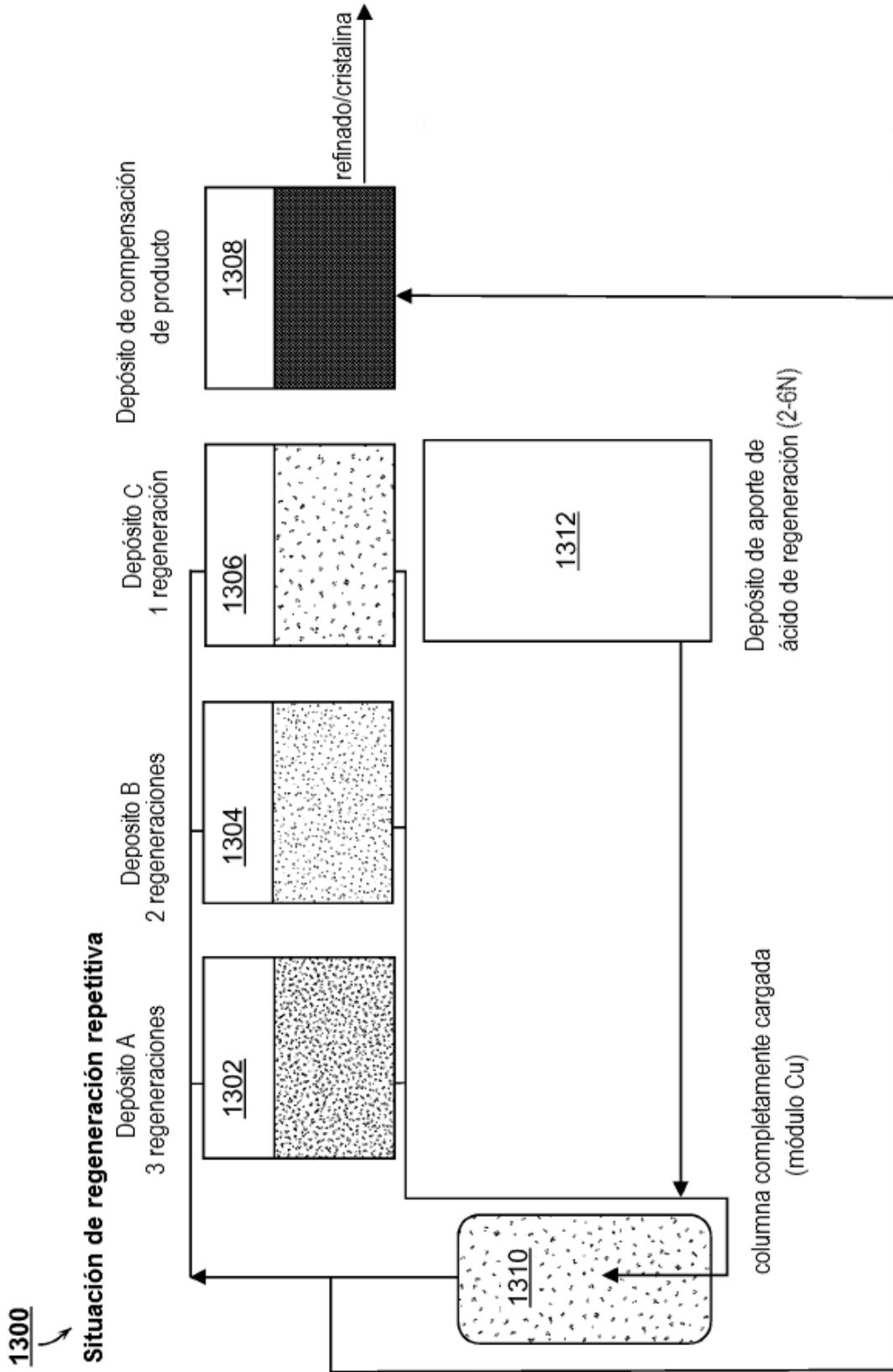


FIG. 13

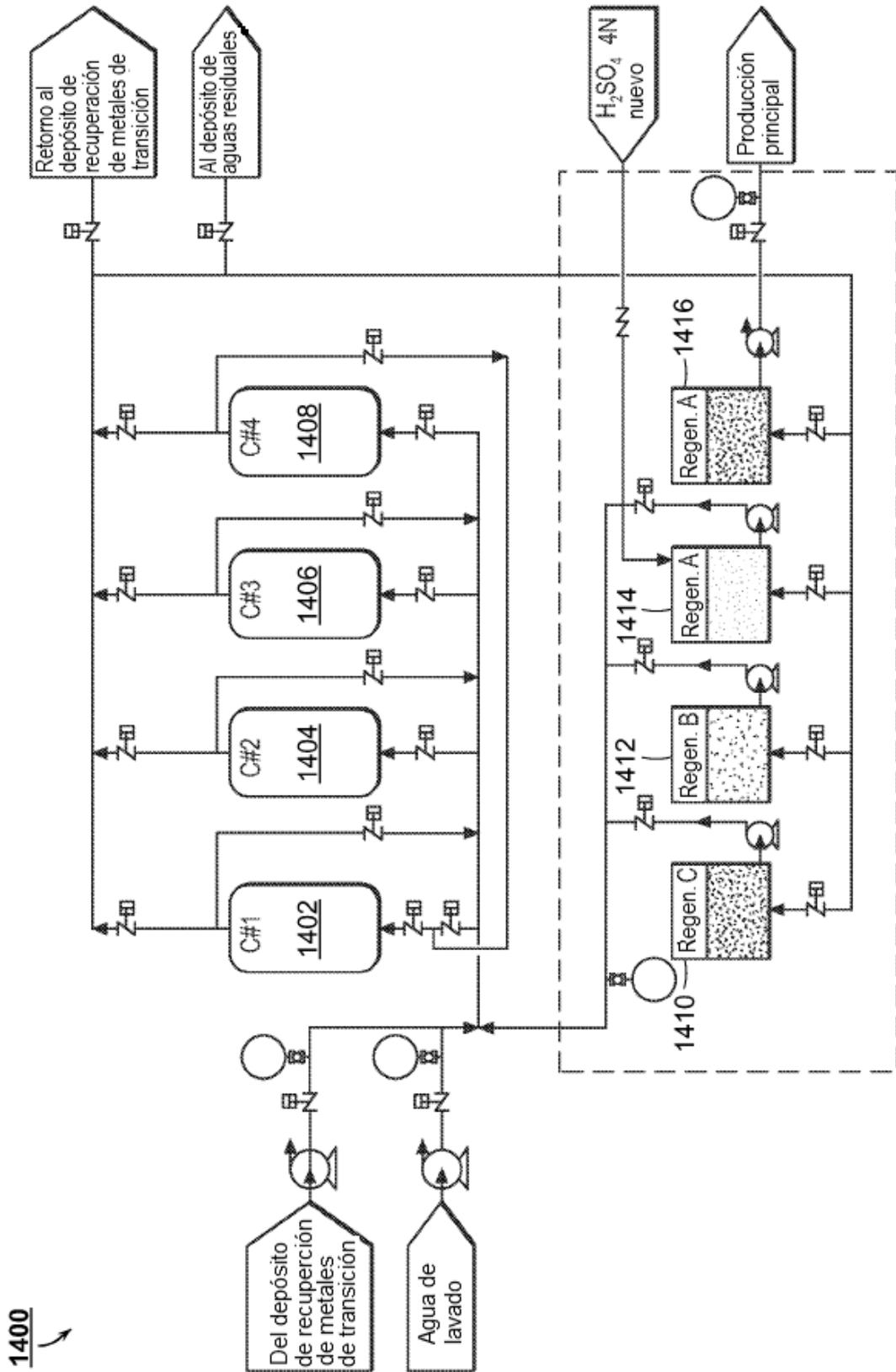


FIG. 14

Sección encargada del concentrado

1400 ↗

1500

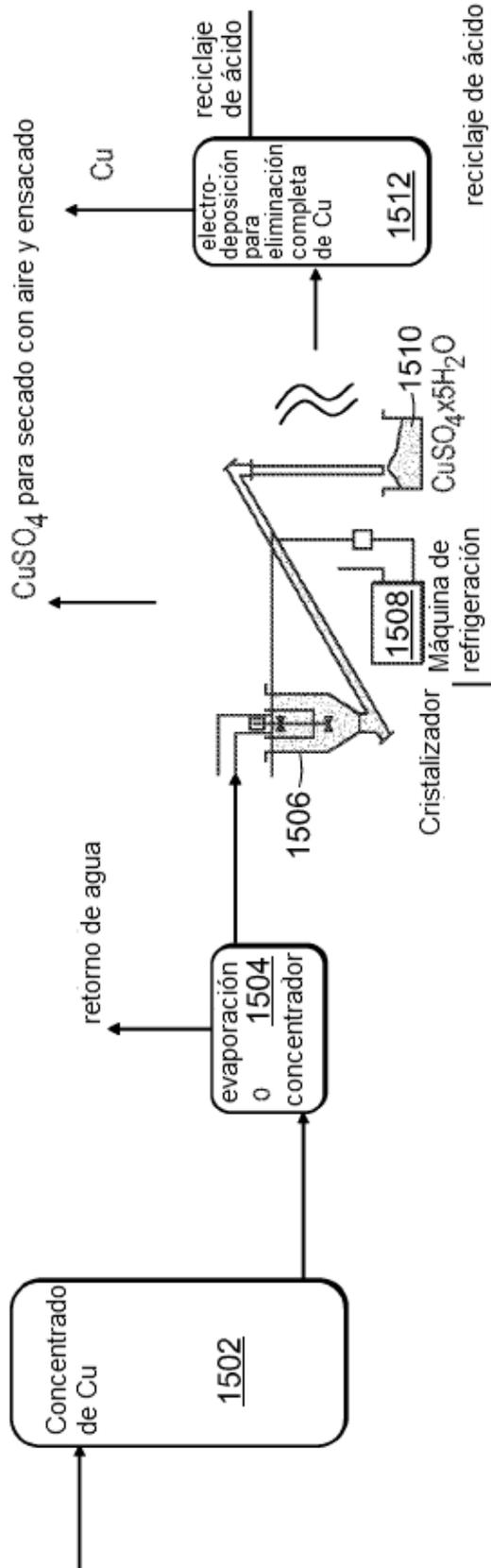


FIG. 15