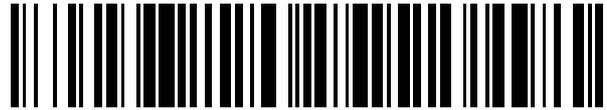


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 762 210**

51 Int. Cl.:

C02F 9/02 (2006.01)
C02F 5/00 (2006.01)
C02F 1/469 (2006.01)
C01B 7/01 (2006.01)
C01D 1/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.11.2014 PCT/US2014/067176**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.05.2015 WO15077727**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2014 E 14864230 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019 EP 3074349**

54 Título: **Sistema y procedimiento de extracción de minerales de una salmuera mediante electrodiálisis**

30 Prioridad:

25.11.2013 US 201361908318 P
10.10.2014 US 201462062657 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.05.2020

73 Titular/es:

ENVIRO WATER MINERALS COMPANY, INC.
(100.0%)
9550 Cypresswood Drive Suite 330
Houston, Texas 77070, US

72 Inventor/es:

WALLACE, PAUL STEVEN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 762 210 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 procedimiento de extracción de minerales de una salmuera mediante electrodiálisis

5 La materia descrita en esta invención se refiere en general a la extracción de minerales y, más particularmente, a un sistema y procedimiento para extraer minerales de una salmuera mediante electrodiálisis.

10 Hay varias regiones en los Estados Unidos (por ejemplo, el suroeste de los Estados Unidos, incluido Nuevo México, el sur de California y partes de Texas) y en todo el mundo que experimentan escasez en el suministro de agua potable debido, en parte, al clima árido de estas regiones geográficas locales. Como los suministros de agua son limitados, es importante la necesidad de tecnologías innovadoras y suministros de agua alternativos tanto para el agua potable como para la agricultura. Un procedimiento para obtener una fuente alternativa de agua potable utiliza sistemas de desalinización para producir el agua potable.

15 El procedimiento de desalinización implica la eliminación de sales del agua de mar, agua de escorrentía agrícola y/o salmueras salobres de agua subterránea para producir agua potable. La desalinización puede usar una mezcla de procedimientos de filtración, como la nanofiltración y la ósmosis inversa, para separar la corriente sin procesar en una corriente de agua desalinizada y una corriente de colas. Las corrientes de colas pueden contener diversas sales y otros materiales que quedan después del procedimiento de desalinización. De hecho, la eliminación de las corrientes de cola producidas por la desalinización puede provocar la degradación del suelo y la contaminación del agua subterránea. Por tanto, los usos alternativos e innovadores de las corrientes de cola pueden reducir los resultados indeseables de desechar las corrientes de cola.

25 Uno de estos usos alternativos implica procesar la corriente de colas para extraer minerales valiosos. En particular, el agua salobre interior y el agua de mar pueden ser ricas en sulfatos, magnesio, calcio y otros minerales. Los sulfatos, principalmente en forma de yeso, tienen una diversidad de usos comerciales, que incluyen, pero no se limitan a, materiales de construcción (por ejemplo, paneles de yeso o placas de yeso), cremas para la piel, champús y tiritas dentales. Además, el yeso se puede usar como fertilizante y/o acondicionador del suelo en la industria agrícola. El magnesio también se puede extraer en forma de magnesia (por ejemplo, óxido de magnesio) que se usa en la industria refractaria debido a sus capacidades de ignifugación, así como en el campo médico como ingrediente en laxantes. A medida que se agotan los depósitos tradicionales de estos minerales, la capacidad para extraerlos a partir de fuentes alternativas representa una oportunidad valiosa así como un medio para reducir el impacto ambiental causado por la eliminación de corrientes de desecho de alto contenido en sales.

35 Los procedimientos existentes para la extracción de minerales a menudo presentan una eficiencia subóptima. Por ejemplo, las piscinas de evaporación requieren una gran área de tierra y a menudo producen sales mixtas de baja pureza con un valor comercial mínimo. Además, un sólido residual de sal mixta resultante del procedimiento de evaporación puede filtrarse al suministro de agua subterránea. Otros procedimientos de extracción implican el procesamiento de la corriente de colas producida en plantas de desalinización de agua salobre o agua de mar. Sin embargo, los procedimientos actuales de extracción de minerales para la corriente de colas pueden no funcionar de manera eficiente. El documento WO00/29326 da un ejemplo de un procedimiento conocido de la técnica anterior.

45 Como se describió anteriormente, los sistemas de desalinización pueden emplear una o una combinación de nanofiltración y ósmosis inversa para facilitar el procedimiento de desalinización y extracción. Después de una separación inicial de una corriente de agua potable de una corriente de colas, la corriente de colas puede procesarse aún más mediante un sistema de extracción de minerales. Por ejemplo, se pueden realizar diversas técnicas de precipitación que facilitan la extracción de minerales disueltos de una solución. Sin embargo, la alta concentración de sal en la corriente de colas puede aumentar la solubilidad de muchos de estos valiosos minerales y, como consecuencia, disminuir la eficiencia en la que estos minerales pueden precipitarse. La extracción inadecuada de estos minerales puede tener un impacto negativo en el propio sistema de extracción de minerales. Por ejemplo, la extracción incompleta del yeso puede dar lugar a una reducción de la filtración y/o membranas de ósmosis inversa, reduciendo así la vida y el flujo de permeado de estas membranas. El reemplazo y la reparación frecuentes de dichos componentes del sistema de extracción de minerales, además de la eficiencia de extracción subóptima, pueden dar como resultado un coste elevado de extracción de minerales, lo que provoca la necesidad de una mayor optimización del sistema de extracción de minerales.

55 Además, los procedimientos existentes pueden ser inadecuados para eliminar las impurezas de los minerales. La eliminación ineficaz de dichas impurezas, incluidos el arsénico, el ácido bórico y la sílice, puede provocar impurezas indeseables en los minerales extraídos y una disminución de la productividad de la planta de extracción de minerales debido a incrustaciones de la membrana. Por lo tanto, un sistema mejorado de extracción de minerales puede facilitar una mayor pureza de minerales valiosos, disminuir las impurezas, aumentar la eficiencia y aumentar la vida útil de los componentes del sistema de extracción de minerales.

65 En una primera realización, un procedimiento incluye tratar una primera corriente de salmuera que incluye una pluralidad de minerales con un antiincrustante para producir una salmuera tratada. La primera corriente de salmuera es proporcionada por un sistema de tratamiento de aguas residuales. El procedimiento también incluye dirigir la

5 salmuera tratada a un primer sistema de nanofiltración (NF) dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al sistema de tratamiento de aguas residuales, generando una primera corriente de permeado de NF y una primera corriente de no permeado de NF de la salmuera tratada en el primer sistema de NF, dirigir la primera corriente de no permeado de NF a un sistema de extracción de minerales dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al primer sistema de NF, y eliminar la pluralidad de minerales de la primera corriente de no permeado de NF para generar una primera corriente de desbordamiento en el sistema de extracción de minerales. La primera corriente de desbordamiento comprende al menos una porción de la pluralidad de minerales. El procedimiento también incluye dirigir una primera porción de la primera corriente de desbordamiento a un sistema de producción de clorhidrato (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH) dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al sistema de extracción de minerales. 10 El sistema de producción de HCl y NaOH incluye un segundo sistema de NF que puede recibir la primera porción de la primera corriente de desbordamiento y puede generar una segunda corriente de salmuera a partir de la primera porción de la primera corriente de desbordamiento. El procedimiento incluye además dirigir la segunda corriente de salmuera a un primer sistema de electrodiálisis (ED) dispuesto dentro del sistema de producción de HCl y NaOH y acoplado de manera fluida al segundo sistema de NF. El primer sistema de ED puede generar HCl y NaOH a partir de la segunda corriente de salmuera. 15

20 En una segunda realización, un sistema incluye un primer sistema de nanofiltración (NF) que puede generar una primera corriente de permeado de NF y una primera corriente de no permeado de NF a partir de una primera corriente de salmuera de un sistema de tratamiento de agua y un sistema de extracción de minerales dispuesto aguas abajo de y acoplado de manera fluida al primer sistema de nanofiltración. El sistema de extracción de minerales puede recibir la primera corriente de no permeado de NF y emitir una corriente de desbordamiento. El sistema también incluye un sistema de producción de clorhidrato (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH) que incluye un segundo sistema de NF dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al sistema de extracción de minerales y un primer sistema de electrodiálisis (ED). El segundo sistema de NF puede recibir una corriente de desbordamiento del sistema de extracción de minerales para generar una segunda corriente de salmuera, y el primer sistema de ED puede recibir la segunda corriente de salmuera para generar HCl y NaOH. 25

30 Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente descripción se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos en los que los caracteres similares representan partes similares en todos los dibujos, donde:

35 la figura 1 es un diagrama de bloques de una realización de un sistema de procesamiento de agua, en el que el sistema de procesamiento de agua incluye una planta de eliminación de agua que tiene un sistema de extracción de minerales y un sistema de producción de clorhidrato (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH), según aspectos de la presente descripción;

la figura 2 es un diagrama de bloques de una realización de la planta de extracción de minerales de la figura 1, en la que la planta de extracción de minerales utiliza un aditivo químico para tratar una corriente de salmuera aguas arriba del sistema de extracción de minerales;

40 la figura 3 es un diagrama de bloques de una realización de la planta de extracción de minerales de la figura 2, en la que el sistema de producción de HCl y NaOH incluye un sistema de nanofiltración (NF), un sistema de electrodiálisis (ED) y una sección de evaporador;

la figura 4 es un diagrama de bloques de una realización de la sección del evaporador de la figura 3, en la que la sección del evaporador tiene un evaporador de preconcentración;

45 la figura 5 es un diagrama de bloques de una realización de la planta de extracción de minerales de la figura 1, teniendo la planta de extracción de minerales un suavizante de intercambio iónico aguas arriba del sistema de extracción de minerales, según los aspectos de la presente descripción;

la figura 6 es un diagrama de bloques de otra realización de la planta de extracción de minerales de la figura 5 que ilustra el sistema de producción de HCl y NaOH, según aspectos de la presente descripción; y

50 la figura 7 es un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento de extracción de minerales y de producción de HCl y NaOH usando el sistema de procesamiento de agua de las figuras 5 y 6, según aspectos de la presente descripción;

55 Una o más realizaciones específicas de la presente descripción se describirán a continuación. En un esfuerzo por proporcionar una descripción concisa de estas realizaciones, todas las características de una implementación real pueden no describirse en la memoria descriptiva. Debe apreciarse que en el desarrollo de cualquier implementación real de este tipo, como en cualquier proyecto de ingeniería o diseño, se deben tomar numerosas decisiones específicas de implementación para lograr los objetivos específicos de los desarrolladores, como el cumplimiento de las restricciones relacionadas con el sistema y las relacionadas con el negocio, que pueden variar de una implementación a otra. Además, debe apreciarse que dicho esfuerzo de desarrollo podría ser complejo y requerir mucho tiempo, pero sería, sin embargo, una tarea habitual de diseño, fabricación y manufacturación para los expertos en la materia que tienen el beneficio de esta descripción. 60

65 Cuando se introducen elementos de diversas realizaciones de la presente invención, los artículos «un», «uno/a», «el/la» y «dicho» pretenden significar que hay uno o más de los elementos. Las expresiones «que comprende», «que incluye» y «que tiene» pretenden ser inclusivas y significan que puede haber elementos adicionales además de los elementos enumerados.

Como se describe en detalle a continuación, las realizaciones descritas incluyen un sistema de procesamiento de agua (por ejemplo, sistema de desalinización) configurado para desalinizar agua (por ejemplo, agua de mar, agua de escurritia agrícola y/o agua subterránea salobre) y recuperar minerales extraídos del agua desalinizada. En los procedimientos de desalinización de agua, los sistemas de separación de iones se usan para extraer minerales (por ejemplo, calcio, magnesio, sodio y sulfato) de las corrientes de colas (por ejemplo, las corrientes de nanofiltración y de ósmosis inversa no permeadas) que de otro modo podrían descartarse. Los minerales extraídos pueden recuperarse como productos de grado industrial para uso comercial. Durante la desalinización del agua y la recuperación de minerales, los minerales pueden causar incrustaciones en los componentes del sistema (por ejemplo, sistema de nanofiltración (NF), sistemas de electrodiálisis, sistemas de ósmosis inversa, etc.) utilizado para la desalinización del agua. Esto puede aumentar los costes operativos del sistema debido, en parte, al desmantelamiento y mantenimiento. Por ejemplo, la costra formada en los componentes del sistema puede necesitar ser eliminada de los componentes del sistema y las membranas del sistema pueden necesitar ser reemplazadas. Por lo tanto, puede ser ventajoso solubilizar y/o eliminar los compuestos formadores de incrustaciones para mitigar las incrustaciones de los componentes del sistema.

La figura 1 es un diagrama de bloques de una realización de un sistema de procesamiento de agua 10 que puede usar aditivos químicos para mitigar la incrustación de los componentes del sistema utilizados durante la desalinización de agua. Por ejemplo, el sistema de procesamiento de agua 10 puede ser parte de un sistema de desalinización de agua, sistema de tratamiento de aguas residuales, sistema de purificación de agua, sistema de tratamiento de salmuera de petróleo y gas o cualquier otro sistema de procesamiento de agua adecuado. En la realización ilustrada, el sistema de procesamiento de agua 10 se usa para producir agua desalinizada a partir de una corriente de alimentación y para extraer minerales de la corriente de alimentación. Por ejemplo, el sistema de procesamiento de agua 10 puede usarse para producir yeso de grado agrícola de alta pureza ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (por ejemplo, aproximadamente más del 97 por ciento en peso (% p) de yeso sobre una base seca), cáustico de grado industrial (por ejemplo, aproximadamente más del 97 % en peso de hidróxido de sodio (NaOH) sobre una base seca), hidróxido de magnesio de grado industrial ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) (por ejemplo, aproximadamente más del 98 % en peso de MgOH sobre una base encendida, o sobre una base de óxido encendido) adecuado para magnesia refractaria industrial, cloruro de sodio de grado industrial (NaCl) (por ejemplo, aproximadamente más del 99,9 % en peso de NaCl sobre una base seca), HCl concentrado para uso comercial (por ejemplo, aproximadamente del 10 % en peso al 22 % en peso) y/o agua desalinizada (por ejemplo, aproximadamente menos de 1 gramo/litro (g/l) (1000 partes por millón (ppm)), sólidos totales disueltos (STD)) de salmueras subterráneas, salmueras residuales de desalinización de agua de mar y/o salmueras residuales de desalinización de agua salobre. Además, el sistema de procesamiento de agua 10 puede usar una combinación de uno o más de precipitación de yeso, precipitación de hidróxido de magnesio, electrodiálisis (ED), y/o reblandecimiento y nanofiltración (NF) para extraer los minerales de salmueras como productos de grado industrial y/o para reducir sustancialmente (o eliminar) una corriente de salmuera residual.

En la realización ilustrada, el sistema de procesamiento de agua 10 incluye un sistema de pretratamiento 12 configurado para recibir una corriente de alimentación 14. La corriente de alimentación 14 puede recibirse desde cualquier fuente de agua adecuada. Por ejemplo, la corriente de alimentación 14 puede recibirse de agua subterránea, agua de mar, agua salobre, etc.

Además, la corriente de alimentación 14 puede contener diversos elementos y/o compuestos. Por ejemplo, la corriente de alimentación 14 puede contener NaCl , sulfato (SO_4), calcio (Ca), magnesio (Mg), y/o dióxido de silicio (sílice o SiO_2). En determinadas realizaciones, la corriente de alimentación 14 puede contener de aproximadamente 0,50 g/l (500 ppm) a aproximadamente 3,00 g/l (3.000 ppm) de NaCl , de aproximadamente 0,10 g/l (100 ppm) a aproximadamente 1,50 g/l (1.500 ppm) de SO_4 , de aproximadamente 0,01 g/l (10 ppm) a aproximadamente 0,80 g/l (800 ppm) de Ca y Mg , y/o de aproximadamente 0,01 g/l (10 ppm) a aproximadamente 0,30 g/l (300 ppm) de SiO_2 . Además, en determinadas realizaciones, la corriente de alimentación 14 puede tener un intervalo de pH entre aproximadamente 5 y 9. Por ejemplo, la corriente de alimentación 14 puede tener un pH de aproximadamente 8.

El sistema de pretratamiento 12 recibe la corriente de alimentación 14 y elimina materiales sólidos (por ejemplo, finos 16), tales como hierro (Fe) y manganeso (Mn), de la corriente de alimentación 14. El sistema de pretratamiento 12 proporciona una corriente de alimentación pretratada 18 a un sistema de ósmosis inversa (OI) 20. El sistema de OI 20 recibe la corriente de alimentación pretratada 18 y produce una corriente de agua desalinizada 28. En determinadas realizaciones, la corriente de agua desalinizada 28 puede incluir SiO_2 . Además, la corriente desalinizada 28 puede tener un pH de aproximadamente 7,5. Además, el sistema de OI 20 proporciona una corriente de salmuera 30 a un sistema de extracción de minerales 32. En determinadas realizaciones, la corriente de agua desalinizada 28 puede ser de aproximadamente el 70 por ciento a aproximadamente el 90 por ciento de la salida del sistema de OI 20, y la corriente de salmuera 30 puede ser de aproximadamente el 10 por ciento a aproximadamente el 30 por ciento de la salida del sistema de OI 20. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la corriente de agua desalinizada 28 puede ser aproximadamente el 80 por ciento de la salida del sistema de OI 20, y la corriente de salmuera 30 puede ser aproximadamente el 20 por ciento de la salida del sistema de OI 20. Como se puede apreciar, mientras que la realización ilustrada usa el sistema de OI 20, otras realizaciones pueden usar el sistema de NF en lugar del sistema de OI 20.

El sistema de extracción de minerales 32 puede ser parte de una planta de extracción de minerales 34. La planta de extracción de minerales 34 está configurada para extraer minerales, elementos y/o compuestos de la corriente de salmuera 30. Como se puede apreciar, se puede proporcionar la corriente de salmuera 30 a la planta de extracción de minerales 34 de cualquier fuente y/o sistema adecuado. En determinadas realizaciones, la corriente de salmuera 30 puede incluir cantidades sustanciales de sales, tales como NaCl, sulfato de sodio (Na₂SO₄), calcio (Ca), y/o magnesio (Mg). Como se analizó anteriormente, el tratamiento de la corriente de salmuera 30 (por ejemplo, química o mecánicamente) puede mitigar la incrustación (precipitación) de las sales. Es decir, la corriente de salmuera 30 puede tratarse con aditivos químicos que aumentan la solubilidad de los componentes de incrustación en la corriente de salmuera 30 y/o ablandan la corriente de salmuera 30 para disminuir la dureza y los compuestos divalentes, como se analiza con mayor detalle a continuación. El sistema de extracción de minerales 32 puede proporcionar una o más corrientes de desalinización 36 que incluye agua desalinizada, que puede contener SiO₂. Además, la una o más corrientes de desalinización 36 pueden incluir un desinfectante y/u oxidante. El desinfectante y/u oxidante puede proporcionarse al sistema de pretratamiento 12 a través de una corriente desinfectante 38.

Se puede proporcionar un material basado en cal 40 (por ejemplo, cal, cal rápida, cal dolomítica, etc.) al sistema de extracción de minerales 32 para facilitar la extracción de minerales de la corriente de salmuera 30. En funcionamiento, el sistema de extracción de minerales 32 puede configurarse para extraer cualquier mineral, elemento y/o compuesto adecuados de la corriente de salmuera 30. Por ejemplo, el sistema de extracción de minerales 32 puede proporcionar una corriente de yeso 46 (por ejemplo, yeso de grado agrícola), una corriente de sal 50 (por ejemplo, cloruro de sodio de grado industrial), una corriente de hidróxido de magnesio 54 (por ejemplo, hidróxido de magnesio de grado industrial), una corriente de bromo 58, una corriente de potasa 62 y/u otras corrientes minerales dependiendo del contenido mineral de la corriente de salmuera 30.

El sistema de extracción de minerales 32 puede generar corrientes adicionales que pueden recogerse para su uso comercial y/o utilizarse en un procedimiento aguas abajo del sistema de procesamiento de agua 10. En determinadas realizaciones, el sistema de extracción de minerales 32 puede proporcionar una o más corrientes de salida 64 a un sistema de producción de HCl y NaOH 66. Por ejemplo, el sistema de extracción de minerales 32 puede proporcionar salmuera de NaCl al sistema de producción de HCl y NaOH 66. El sistema de producción de HCl y NaOH 66 puede generar HCl concentrado a través de un procedimiento de separación de iones (por ejemplo, procedimiento ED) seguido de un procedimiento de evaporación. Además, el sistema de extracción de minerales 32 puede recibir una o más corrientes de entrada 68 del sistema de producción de HCl y NaOH 66. La una o más corrientes de entrada 68 pueden proporcionar al sistema de extracción de minerales 32 HCl y/o cáustico (por ejemplo, NaOH) producido por el sistema de producción de HCl y NaOH 66. Además, el sistema de producción de HCl y NaOH 66 puede generar una solución cáustica 70 (por ejemplo, NaOH de grado industrial concentrado) y/o una solución concentrada de producto HCl de grado industrial 72 que no es utilizada por el sistema de extracción de minerales 32 (por ejemplo, producida para venderse).

La planta de extracción de minerales 34 también incluye un sistema de calefacción y producción de energía 74. El sistema de calefacción y producción de energía 74 puede incluir un motor de gas natural y/o una caldera. El sistema de calefacción y producción de energía 74 puede configurarse para recibir un combustible 76. El combustible 76 puede ser cualquier combustible adecuado, tal como gas natural, gas natural sintético (por ejemplo, gas de síntesis), o una combinación de los mismos. El sistema de calefacción y producción de energía 74 puede proporcionar energía, vapor, agua caliente, cualquier fluido calentado adecuado, etc. al sistema de producción de HCl y NaOH 66, como se indica con la flecha 80. Además, el sistema de calefacción y producción de energía 74 puede recibir una corriente de fluido enfriado 82 (por ejemplo, agua enfriada) del sistema de producción de HCl y NaOH 66. Como se ilustra, el sistema de calefacción y producción de energía 74 también puede proporcionar energía al sistema de extracción de minerales 32, como se indica con la flecha 84. Además, el sistema de calefacción y producción de energía 74 puede proporcionar energía 88 a otro sistema y/o el sistema de OI 20, como se indica con la flecha 90.

La figura 2 es un diagrama de bloques de una realización de la planta de extracción de minerales 34 configurada para tratar la corriente de salmuera 30 con aditivos químicos que mitigan la incrustación. Como se indicó anteriormente, la corriente de salmuera 30 incluye minerales tales como NaSO₄, SiO₂, calcio y magnesio que forman costra en los componentes del sistema durante la desalinización. Por lo tanto, en determinadas realizaciones, la corriente de salmuera 30 se calienta y se trata con HCl antes de la desalinización. Por ejemplo, en la realización ilustrada, la corriente de salmuera 30, presurizada a entre aproximadamente 689,48 kilopascales (kPa) (100 libras por pulgada cuadrada (psig)) y aproximadamente 1034,21 kPa (150 psig), fluye a través de un intercambiador de calor 96 que usa agua, que se calienta en el sistema de producción de HCl y NaOH 66, para calentar la corriente de salmuera 30 a entre aproximadamente 30 °C y aproximadamente 40 °C (aproximadamente 90 °F y aproximadamente 100 °F). Antes o después del calentamiento, la corriente de salmuera 30 se trata con HCl diluido 101 (por ejemplo, menos de aproximadamente 1 % en peso de HCl), que se genera en un sistema de nanofiltración (NF) 104 y un sistema de purga de HCl 106, como se ilustra con la flecha 102. En determinadas realizaciones, el sistema de NF 104 puede formar parte del sistema de producción de HCl y NaOH 66, como se analiza con más detalle a continuación con referencia a la figura 3. El HCl 100 se ajusta un pH de la corriente de salmuera 30 a menos de aproximadamente 5. El aumento de la temperatura y la reducción del pH de la corriente de salmuera 30 aumentan la solubilidad de la sílice (SiO₂), lo que reduce la incrustación de la sílice en los componentes del sistema aguas abajo (por ejemplo, sistemas de nanofiltración y electrodiálisis). Por otra parte, el HCl 100 reacciona con bicarbonato en la corriente de salmuera 30 y genera gas CO₂ soluble, eliminando de este modo el bicarbonato de la corriente de salmuera 30. Además del HCl 100, un

antiincrustante 108 puede añadirse a la corriente de salmuera 30. El antiincrustante 108 puede reducir la incrustación de la dureza y los compuestos/elementos divalentes y otros minerales (por ejemplo, NaSO_4). Los ejemplos no limitantes del antiincrustante 108 incluyen antiincrustantes de sulfato de bario y yeso, tales como Hypersperse MDC706 (GE Water and Process Technology), Vitec 7000 (Avista Technologies Inc), cualquier otro antiincrustante adecuado, y combinaciones de los mismos. La corriente de salmuera 30, el HCl 100 y el antiincrustante 108 pueden mezclarse en un mezclador (por ejemplo, un mezclador estático) para proporcionar una mezcla sustancialmente uniforme (por ejemplo, para generar una mezcla sustancialmente homogénea). En determinadas realizaciones, la corriente de salmuera 30 puede filtrarse con un filtro 110 aguas abajo del intercambiador de calor 96. El filtro 110 puede eliminar cualquier partícula (por ejemplo, fluoruro de calcio o sulfato de bario) que pueda haber estado presente en la corriente de salmuera 30 o haberse formado durante el calentamiento y el tratamiento con el HCl 100 y/o el antiincrustante 108. El filtro (por ejemplo, el filtro 110) puede ser un filtro de cartucho de 4 a 6 micrómetros. Sin embargo, cualquier otro filtro adecuado puede usarse para eliminar las partículas.

Después del calentamiento, el tratamiento químico y el filtrado, la corriente de salmuera 30 puede alimentarse a un sistema de nanofiltración (NF) 116. En la realización ilustrada, el sistema de NF 116 incluye las unidades de NF 118 y 120. Las unidades de NF 118, 120 pueden ser unidades de etapa única o unidades de etapa múltiple. Por ejemplo, en una realización, las unidades de NF 118, 120 pueden ser unidades de NF de dos, tres, cuatro o más etapas. En otras realizaciones, las unidades de NF 118, 120 pueden ser unidades de NF de una sola etapa. En otra realización, las unidades de NF 118, 120 pueden ser una combinación de unidades de NF de etapa única y múltiple. Por ejemplo, la unidad de NF 118 puede ser una unidad de NF de dos etapas y la unidad de NF 120 puede ser una unidad de NF de una etapa. Las unidades de NF 118, 120 separan la corriente de salmuera 30 en una corriente de permeado de baja presión (por ejemplo, entre aproximadamente 34,47 kPa (5 psig) y aproximadamente 137,9 kPa (20 psig)) que contiene cloruro de sodio (NaCl) y una corriente concentrada que tiene la dureza y los compuestos/elementos divalentes (por ejemplo, Ca , Mg y SO_4). En las realizaciones ilustradas, la unidad de NF 118 genera una corriente de permeado de NF 124 y una corriente concentrada de NF 126. La corriente concentrada de NF 126 se alimenta a la unidad de NF 120 y la corriente de permeado de NF 124 se alimenta a un tanque de alimentación de inversión de electrodiálisis (EDI) 128. De manera similar, la unidad de NF 120 genera otra corriente de permeado de NF 130 y otra corriente concentrada de NF 132 de la corriente concentrada de NF 126. Sin embargo, a diferencia de la corriente de permeado de NF 124, la corriente de permeado de NF 130 puede tener una cantidad indeseable de calcio, magnesio y/o sulfato. Por lo tanto, la corriente de permeado de NF 130, o una porción de la corriente 130, se recicla de nuevo a la alimentación (por ejemplo, una alimentación de la primera etapa de NF) de la unidad de NF 118 para disminuir una concentración de calcio, magnesio y sulfato en la corriente de permeado de NF 124. En las realizaciones que tienen un sistema de NF de tres etapas, un permeado de la tercera etapa se recicla nuevamente a la alimentación de NF de la primera etapa.

La corriente concentrada de NF 132, que contiene el calcio, el magnesio y el sulfato, se alimenta al sistema de extracción de minerales 32 para generar yeso 46 e hidróxido de magnesio 54. Por ejemplo, la corriente concentrada de NF 132 se alimenta a un sistema de extracción de yeso 140. Además, una corriente de concentrado de NF adicional 134 desde el sistema de NF 104 también se dirige al sistema de extracción de yeso 140. El sistema de extracción de yeso 140 recupera el Ca y el SO_4 de la corriente concentrada de NF 132, generando así yeso 46. El sistema de extracción de yeso 140 puede incluir un mezclador 142, un sedimentador 146 y un filtro 148 que facilitan la extracción del yeso 46 de la corriente concentrada de NF 132. El Ca y SO_4 en la corriente 132 reaccionan en el sistema de extracción de yeso 140 para precipitar el yeso 46. En determinadas realizaciones, aproximadamente del 50 % a aproximadamente el 70 % del SO_4 en la corriente 132 se elimina. La presencia de cristales de semillas del yeso 46 en el mezclador 142 (por ejemplo, un mezclador turbulento) puede facilitar la cinética de precipitación de yeso, permitiendo así la precipitación rápida de yeso. Además, en determinadas realizaciones, el mezclador 142 puede tener un tiempo de residencia de más de aproximadamente 2 horas. Por lo tanto, el gran tiempo de residencia (por ejemplo, mayor de aproximadamente 1 hora); en combinación con la mezcla turbulenta y un gran contenido sólido (por ejemplo, mayor de aproximadamente el 10 % en peso), puede permitir la formación de cristales de yeso que tienen un tamaño medio de partícula de 100 micrómetros o más. Los cristales de yeso más grandes pueden facilitar la extracción del yeso 46 en el sedimentador 146. El mezclador 142 puede funcionar a un pH de entre aproximadamente 3 y aproximadamente 5 para reducir la eficacia del antisellador 108 añadido a la corriente de salmuera 30, facilitando así la precipitación del yeso 46.

En el sedimentador 146, los cristales de yeso se depositan y la solución saturada casi libre de sólidos se decanta. En determinadas realizaciones, se puede añadir NaOH 150 al sedimentador 146. El NaOH 150 puede aumentar el pH del mezclador 142 a entre aproximadamente 8 y aproximadamente 9. El pH alcalino en el sedimentador 146 puede causar la precipitación de sílice, como silicato de magnesio. Además, el pH alcalino también puede dar como resultado la precipitación de cantidades traza de hierro como hidróxido férrico (por ejemplo, $\text{Fe}(\text{OH})_3$) y silicato de hierro, mejorando así la sedimentación del yeso 46. Una corriente de desbordamiento 154 del sedimentador de yeso enriquecida con magnesio (por ejemplo, cloruro de magnesio (MgCl_2)) se alimenta a un tanque de desbordamiento 156. En determinadas realizaciones, una corriente de permeado de NF 158 del sistema de NF 104 puede combinarse con la corriente de desbordamiento 154 del sedimentador de yeso para desaturar la corriente de desbordamiento 154 del sedimentador de yeso y para reducir la incrustación de yeso en el equipo aguas abajo. Por ejemplo, la corriente de desbordamiento 154 del sedimentador de yeso puede tener una saturación de yeso de entre aproximadamente el 105 % y aproximadamente el 110 % (de aproximadamente 3000 mg/l a aproximadamente 8000 mg/l de yeso disuelto)

y contener trazas de sólidos de yeso fino (de entre aproximadamente 1 ppm y aproximadamente 10 ppm de sólidos de yeso fino). Por lo tanto, la corriente de permeado de NF 158 se puede usar para diluir la corriente de desbordamiento 154 del sedimentador de yeso para disminuir la saturación de yeso por debajo del 100 % y disolver los sólidos de yeso fino para evitar la incrustación en el equipo aguas abajo. Como tal, la precipitación del yeso 46 en el tanque de desbordamiento 156 y otros componentes del sistema aguas abajo se puede disminuir.

Los fondos del sedimentador (por ejemplo, el yeso sedimentado 46) pueden dirigirse a un hidroclón y filtro (por ejemplo, el filtro 148) para lavar (por ejemplo, con agua desalinizada) y concentrar el yeso 46 en una torta de filtro lavable vendible. En determinadas realizaciones, la torta de filtro puede incluir de aproximadamente el 70 % en peso a aproximadamente el 100 % en peso de yeso 46. Por ejemplo, la torta de filtro puede incluir aproximadamente el 90 % en peso de yeso 46. Por tanto, el yeso 46 se proporciona como una salida 160 del sistema de extracción de yeso 140. Una porción de los fondos del sedimentador puede alimentarse al mezclador 142 para mantener una carga de sólidos deseada para la precipitación del yeso 46. Un filtrado del filtro 148 se recicla al sedimentador 146.

El tanque de desbordamiento 156 dirige una porción de desbordamiento 162 al sistema de producción de HCl y NaOH 66. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el tanque de desbordamiento 156 alimenta la porción de desbordamiento 162 al sistema de NF 104. El sistema de NF 104 puede usar la porción de desbordamiento 162 para generar la corriente de concentrado de NF 134 y la corriente de permeado de NF 158. Por lo tanto, la exportación de agua de la corriente de NaCl diluida 163 a la corriente de ácido diluido 102 proporciona el equilibrio de agua en el sistema de extracción de minerales 32. Una porción de desbordamiento 164 se alimenta a un sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168. Como se analizó anteriormente, la corriente de desbordamiento 154 del sedimentador de yeso se enriquece con magnesio. El magnesio en la corriente de salmuera 30 se concentra por un factor de entre aproximadamente 5 y aproximadamente 15 en la corriente concentrada de NF 132 y la corriente concentrada de NF 134 por los sistemas de NF 116 y 104. Por lo tanto, el sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168 extrae y recupera el magnesio en la porción de desbordamiento. Similar al sistema de extracción de yeso 140, en determinadas realizaciones, el sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168 también puede incluir un mezclador, un sedimentador y un filtro para facilitar la extracción del hidróxido de magnesio 54 de la porción de desbordamiento 164. En algunas realizaciones, el sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168 puede configurarse para extraer de aproximadamente el 90 al 98 % del Mg en la porción de desbordamiento 164.

Se puede usar una disposición similar al sistema de extracción de yeso 140 (por ejemplo, mezclador 142, sedimentador 146, filtro 148, etc.) para producir una torta de filtro de hidróxido de magnesio lavada y una salmuera efluente con bajo contenido de magnesio. El desbordamiento del filtro del sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168 puede alimentarse al sedimentador y tratarse con cáustico (por ejemplo, NaOH). El cáustico reacciona con $MgCl_2$ para generar el hidróxido de magnesio 54. El pH del sedimentador de hidróxido de magnesio se mantiene a entre aproximadamente 10 y aproximadamente 11, de modo que se reduce el exceso de hidróxido (OH^-). Los sólidos en la sección del mezclador sedimentador de hidróxido de magnesio se pueden mantener entre aproximadamente el 4 % en peso y aproximadamente el 15 % en peso para aumentar varios sitios de crecimiento de cristales, y de ese modo aumentar el tamaño de los cristales de hidróxido de magnesio y disminuir los finos en la salmuera efluente de magnesio. Una corriente de desbordamiento 170 del sedimentador de magnesio puede alimentarse al tanque de desbordamiento 156 y reciclarse a través del sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168, como parte de la porción de desbordamiento 164, y/o alimentarse al sistema de producción de HCl y NaOH 66, como parte de la porción de desbordamiento 160, como se analiza en detalle a continuación con referencia a la figura 6. En determinadas realizaciones, se puede añadir HCl 100 a la corriente 170 para disminuir el pH a entre aproximadamente 6,5 y aproximadamente 8,5 y disolver cualquiera de los finos de hidróxido de magnesio arrastrados. El HCl 100 puede añadirse a la corriente 170 aguas arriba del tanque de desbordamiento 156 o puede añadirse al tanque de desbordamiento 156.

Como se analizó anteriormente, el sistema de NF 116 también genera y dirige la corriente de NF 124 al tanque de alimentación de EDI 128. La corriente de permeado de NF 124 puede incluir entre aproximadamente el 0,5 % en peso y aproximadamente el 1,0 % en peso de cloruro de sodio (NaCl). El NaCl puede ser utilizado por el sistema de producción de HCl y NaOH 66, aguas abajo del tanque de alimentación de EDI 128, para la producción de HCl 72, 100 y NaOH 70, 150. Antes de alimentar la corriente de permeado de NF 124 al tanque de alimentación de EDI 128, la corriente de permeado de NF 124 se desgasifica en un separador de aire 178, eliminando así el CO_2 180 de la corriente de permeado de NF 124 y generando una corriente de salmuera desgasificada 184. Como se analizó anteriormente, la corriente de salmuera 30 puede tratarse con HCl 100 para convertir bicarbonato en CO_2 180, eliminando así el bicarbonato de la corriente de salmuera 30. El separador 178 dirige la corriente de salmuera desgasificada 184 al tanque de alimentación de EDI 128 para su posterior procesamiento.

Mientras está en el tanque de alimentación de EDI 128, la corriente de salmuera desgasificada 184 puede tratarse con un agente oxidante 186 para facilitar la eliminación de arsénico (As) de la primera corriente de permeado de NF 124 y generar un residuo bajo en cloro (por ejemplo, menos de aproximadamente 0,5 mg/l de cloro) en el tanque de alimentación de EDI 128. Por ejemplo, la corriente de salmuera 30 puede tener arsénico disuelto. El sistema de NF 116 no puede eliminar el arsénico en la corriente de salmuera 30 si el arsénico está en forma de arsenito reducido (H_2AsO_3). La adición del agente oxidante 186 (por ejemplo, hipoclorito de sodio) generalmente da como resultado la oxidación del arsénico, generando así arseniato (AsO_4H_3). El arseniato puede ionizarse y eliminarse aguas abajo,

como se analiza a continuación con referencia a la figura 3.

El tanque de alimentación de EDI 128 emite la corriente de salmuera desgasificada 184 a un sistema de electrodiálisis (ED) 190 (por ejemplo, un sistema de inversión ED) que elimina sales, como NaCl, de la corriente de salmuera desgasificada 184, como se ilustra con la flecha 192. En consecuencia, el sistema ED 190 genera al menos una porción de la corriente desalinizada 36 y una corriente de salmuera ED 196 (que tiene entre aproximadamente el 4 % en peso y aproximadamente el 7 % en peso de NaCl). La corriente desalinizada 36 cumple con los estándares de calidad de agua potable y puede combinarse con el agua desalinizada 28 generada por el sistema de OI 20 para su uso en diversos procedimientos en todo el sistema 10. El agua desalinizada 28 puede incluir sílice (por ejemplo, entre aproximadamente 50 partes por millón (ppm) y aproximadamente 150 ppm). La corriente de salmuera de ED 196 se alimenta al sistema de producción de HCl y NaOH 66 para permitir la producción del HCl de grado industrial concentrado y el NaOH de grado industrial concentrado (por ejemplo, HCl 72, 100 y la solución cáustica 70), como se analiza con más detalle a continuación.

En determinadas realizaciones, una porción de la corriente de salmuera desgasificada 184 se puede usar para enjuagar electrodos en el sistema de ED 190. El agua de enjuague del electrodo puede recircularse de regreso al tanque de alimentación de EDI 128. El hidrógeno y el cloro en el agua de enjuague del electrodo pueden ventilarse usando un soplador de aire acoplado al tanque de alimentación de EDI 128. Los vapores de hidrógeno y cloro ventilados 198 pueden alimentarse a un depurador de gas 200. El depurador de gas 200 puede usar NaOH 150 (por ejemplo, entre aproximadamente el 3 % en peso y aproximadamente el 5 % en peso de NaOH) para absorber el cloro en los vapores 198, convirtiendo así el NaOH 150 en hipoclorito de sodio (por ejemplo, el agente oxidante 186). Al menos una porción del hipoclorito de sodio puede dirigirse al tanque de alimentación de EDI 128, como se ilustra con la flecha 202. El hipoclorito de sodio (por ejemplo, el agente oxidante 186) que no es alimentado al tanque de alimentación de EDI 128 puede usarse en otros procedimientos de sistemas y/o recogerse como producto comercial.

Como se analizó anteriormente, el sistema de producción de HCl y NaOH 66 genera el HCl 72, 100 y el NaOH 70, 150 a partir de la corriente de salmuera de ED 196. La figura 3 es un diagrama de bloques de una realización de la planta de extracción de minerales 34 configurada para generar el HCl 72, 100 y el NaOH 70, 150 en el sistema de producción de HCl y NaOH 66. Para facilitar el análisis de la figura 3, determinadas características de la planta de extracción de minerales 34 han sido omitidas. En la realización ilustrada, la corriente de salmuera de ED 196 se alimenta a un sistema de intercambio iónico de lecho múltiple 210. El sistema de ED 190 puede dirigir la corriente de salmuera de ED 196 a un tanque de alimentación de salmuera de ED 212 que proporciona la corriente de salmuera de ED 196 al sistema de intercambio iónico de lecho múltiple 210, como se ilustra con la flecha 214. Si bien en el tanque de alimentación de salmuera de ED 212, la corriente de salmuera de ED 196 puede mezclarse con otra corriente de salmuera de ED 216 (que tiene entre aproximadamente el 4 % en peso y aproximadamente el 7 % en peso de NaCl), que se genera en el sistema de NF 104.

El sistema de intercambio iónico de lecho múltiple 210 incluye un suavizante de intercambio iónico 220 (por ejemplo, un Amberlite™ IRC747 fabricado por The Dow Chemical Company de Midland, Michigan) y un absorbedor 224. En funcionamiento, el suavizante de intercambio iónico 220 elimina los compuestos/elementos de dureza residuales (por ejemplo, calcio y magnesio) de la corriente 214 (por ejemplo, corrientes de salmuera de ED 196, 216) que no se eliminaron en los sistemas de NF 104, 116. El suavizante de intercambio iónico 220 genera una corriente de salmuera reblandecida 230 y una salmuera de cloruro de calcio (CaCl₂) 234. Por ejemplo, el suavizante de intercambio iónico 220 incluye una resina que absorbe iones divalentes (por ejemplo, calcio y magnesio), eliminando así los iones divalentes de la corriente 214. El suavizante de intercambio iónico 220 puede tratarse con HCl 100 (por ejemplo, entre aproximadamente el 5 % en peso y aproximadamente el 8 % en peso de HCl) y NaOH 150 (por ejemplo, entre aproximadamente el 3 % en peso y aproximadamente el 5 % en peso de NaOH) para regenerar la resina (por ejemplo, liberar el calcio y magnesio absorbidos) y generar la salmuera de CaCl₂ 234. La salmuera de CaCl₂ 234 puede venderse como un producto comercial. En determinadas realizaciones, una porción de la corriente de salmuera ablandada 230 puede usarse para enjuagar el suavizante de intercambio iónico 220 entre etapas de regeneración (por ejemplo, entre la adición del HCl 100 y el NaOH 150). La salmuera de enjuague gastada resultante se puede dirigir al tanque de alimentación de salmuera de ED 214. Se puede ajustar un pH de la salmuera de enjuague gastada a entre aproximadamente 6 y aproximadamente 8 usando NaOH 150 antes de alimentar al tanque de alimentación de salmuera de ED 214.

La corriente de salmuera ablandada 230 puede tener cantidades traza de arseniato y sílice. En consecuencia, la corriente de salmuera ablandada 230 se alimenta al absorbedor 224. Como se analizó anteriormente, el agente oxidante 186 convierte el arsénico de la corriente de salmuera 30 en arseniato en el tanque de alimentación de EDI 128. A un pH de aproximadamente 5, el arseniato se ioniza y el sistema de ED 190 elimina el arseniato de la corriente 192. Como tal, la corriente de salmuera de ED 196 puede contener arseniato y sílice. El absorbedor 224 elimina el arseniato residual y la sílice de la corriente de salmuera ablandada 230. El absorbedor 224 incluye múltiples lechos de intercambio iónico (como Lewatit F036 fabricado por Lanxess) que absorben el arseniato y la sílice de la corriente de salmuera ablandada 230. De esta manera, el sistema de intercambio de iones de lecho múltiple 210 genera una corriente de salmuera ablandada 236 que puede usarse para producir HCl 72, 100 y NaOH 70, 150. El absorbedor 224 puede regenerarse periódicamente con NaOH 150. El NaOH 150 reacciona con el arseniato y la sílice para formar arseniato de sodio y silicato de sodio rico en salmuera 240. La salmuera 240 se puede alimentar a un tanque de

ES 2 762 210 T3

- recuperación de arsénico 242. En el tanque de recuperación de arsénico 242, la salmuera 240 puede neutralizarse con HCl 100 y tratarse con cloruro férrico (FeCl_3), generando así arseniato férrico, silicato férrico y precipitado de hidróxido férrico. El lecho absorbente funciona a un pH de entre aproximadamente 5 y aproximadamente 6 para maximizar la eliminación de arsénico. Se puede operar otro lecho absorbente a un pH de entre aproximadamente 8 y aproximadamente 9 (con adición de la corriente 150 de NaOH) para maximizar la eliminación de sílice. La salmuera de regeneración del segundo lecho, que contiene principalmente silicato de sodio, se puede alimentar opcionalmente al sistema de extracción de yeso 140 para precipitar la sílice con el yeso como silicato de magnesio y reducir el volumen de sólidos de arseniato férrico.
- La corriente de salmuera ablandada 236 puede alimentarse a un sistema de OI 248 (por ejemplo, un sistema de ósmosis inversa de agua de mar). El sistema de OI 248 concentra la corriente de salmuera ablandada 236, generando así una corriente de salmuera de cloruro de sodio (NaCl) 250. Por ejemplo, la corriente de salmuera ablandada 236 puede tener entre aproximadamente el 5 % en peso y aproximadamente el 7 % en peso de NaCl. El sistema de OI 248 puede generar la corriente de salmuera de NaCl 250 (que tiene aproximadamente el 8 % en peso de NaCl) y agua de reposición 254. El agua de reposición 254 puede usarse en diversos procedimientos del sistema 10. Por ejemplo, el agua de reposición 254 puede usarse como agua de reposición y abastecimiento de la torre de enfriamiento para el sistema 10.
- La corriente de salmuera NaCl 250 puede dirigirse a un tanque de alimentación de NaCl que bombea la corriente 250 a un sistema de ED 256. El sistema de ED 256 puede incluir una pila de membrana bipolar de electrodiálisis (MBED) (por ejemplo, electrodiálisis Electromat y electrodiálisis bipolar fabricados por GE Power y Agua de Trevoise, PA) que tienen una MBED 258 y 260. Las MBED 258, 260 tienen cada una un compartimento de salmuera 264, un compartimento de ácido 266 y un compartimento cáustico 268. En funcionamiento, los iones de hidrógeno (H^+) y los iones de cloruro (Cl^-) se acumulan en el compartimento de ácido 266. De manera similar, los iones de sodio (Na^+) e hidróxido (OH^-) se acumulan en el compartimento cáustico 268. De esta manera, los compartimentos 266, 268 generan HCl 100 (que tiene entre aproximadamente el 4 % en peso y aproximadamente el 8 % en peso de HCl) y NaOH 150 (que tiene entre aproximadamente el 4 % en peso y aproximadamente el 8 % en peso de NaOH), respectivamente. El HCl 100 y el NaOH 150 pueden alimentarse a una sección de evaporador 276 acoplada al sistema de ED 256 para generar HCl concentrado que tiene entre aproximadamente el 15 % en peso y aproximadamente el 35 % en peso de HCl (por ejemplo, el HCl de grado industrial concentrado 72) y el NaOH concentrado 150 que tiene entre aproximadamente el 20 % en peso y aproximadamente el 50 % en peso de NaOH (por ejemplo, el NaOH de grado industrial concentrado 70), como se analiza con más detalle a continuación. Además, una porción del HCl 100 y NaOH 150 puede usarse para ajustar el pH de diversas corrientes y diversos compuestos dentro del sistema 10.
- La corriente de salmuera de ED 280 (que tiene entre aproximadamente el 3 % en peso y aproximadamente el 5 % en peso de NaCl) desde el compartimento de salmuera 264 de cada MBED 258, 260 puede alimentarse a un sistema de ED 284 dentro del sistema de NF 104. La corriente de salmuera de ED 280 puede alimentarse a una región de concentración del sistema de ED 284, aumentando así la concentración de NaCl de la corriente de salmuera de ED 216. Por ejemplo, como se analizó anteriormente, el sistema de NF 104 recibe la porción de desbordamiento 162 desde el tanque de desbordamiento 156. La porción de desbordamiento 162 se alimenta a una unidad de NF 290 dentro del sistema de NF 104. La unidad de NF 290 elimina calcio, magnesio y sulfato residuales de la porción de desbordamiento 162, generando así la corriente 158 y la corriente concentrada de NF 292 (por ejemplo, salmuera de NaCl). La corriente concentrada de NF 292 se alimenta (por ejemplo, desde un tanque de alimentación) al sistema de ED 284. El sistema de ED 284 elimina el NaCl de la corriente concentrada de NF 292 y genera un NaCl diluido 294 que tiene aproximadamente menos del 1 % en peso de NaCl. El NaCl diluido 294 puede mezclarse con el HCl 100 (por ejemplo, purgar HCl de la sección de evaporador 276 que tiene aproximadamente el 16 % en peso de HCl) para generar la corriente 102. Como se analizó anteriormente, la corriente de salmuera 30 puede tratarse con HCl 100 (por ejemplo, a través de la corriente 102) para convertir bicarbonato en CO_2 180 soluble aguas arriba del sistema de NF 116. En otra realización, se usa una OI en lugar del sistema de ED 284. La corriente 292 se alimenta a la OI, un permeado de OI es la corriente de NaCl diluido 294 y un concentrado de OI se mezcla con la corriente 280 para producir la corriente 216.
- El sistema de ED 284 genera una salmuera de NaCl (por ejemplo, la corriente de salmuera de ED 216) que tiene entre aproximadamente el 4 % en peso y aproximadamente el 6 % en peso de NaCl. Sin embargo, en determinadas realizaciones, se evita la recirculación de la corriente de salmuera de ED 216 alimentando la corriente de salmuera de ED 280 al lado del concentrado del sistema de ED 284. La corriente de salmuera de ED 216 se alimenta al tanque de alimentación de salmuera de ED 212 y se recircula a través del sistema de ED 256 para facilitar la producción del HCl de grado industrial concentrado 72 y el NaOH de grado industrial concentrado 70 en la sección de evaporación 276.
- En la realización ilustrada, la sección de evaporador 276 incluye un evaporador de HCl 300 y un evaporador de NaOH 302. Los evaporadores 300, 302 concentran la corriente de HCl 100 y la corriente de NaOH 150, respectivamente, generando así el HCl de grado industrial concentrado 72 (entre aproximadamente el 15 % en peso y aproximadamente el 20 % en peso de HCl) y el NaOH de grado industrial concentrado 70 (entre aproximadamente el 30 % en peso y aproximadamente el 50 % en peso de NaOH). Como debe señalarse, una porción del HCl y NaOH de grado industrial concentrado 72, 70 puede diluirse para generar el HCl 100 y el NaOH 150. En determinadas realizaciones, el evaporador de HCl 300 es un sistema de evaporador mecánico de recompresión de vapor (RMV) y el evaporador de

NaOH 302 es un evaporador de vacío.

En otras realizaciones, el evaporador de HCl 300 es una unidad de destilación y el evaporador de NaOH 302 es un evaporador de flujo inverso de triple efecto. Por ejemplo, la figura 4 es una realización del sistema de producción de HCl y NaOH 66 que utiliza una unidad de destilación y un evaporador de película descendente para concentrar HCl y NaOH, generando así el HCl de grado industrial concentrado 72 y el NaOH de grado industrial concentrado 70. En la realización ilustrada, el HCl 100 y NaOH 150 se alimentan a un evaporador de preconcentración 308 (por ejemplo, un evaporador de película descendente de cuatro efectos). El evaporador de preconcentración 308 incluye un primer efecto NaOH 310, un segundo efecto NaOH 312, un primer efecto HCl 316 y un segundo efecto HCl 318. El NaOH 150 se alimenta al segundo efecto NaOH 312 seguido por el primer efecto NaOH 310. De manera similar, el HCl 100 se alimenta al segundo efecto HCl 318 seguido por el primer efecto HCl 316. El vapor 320 se alimenta al primer efecto NaOH 310 y circula a través de los efectos 312, 316, y 318 para evaporar una porción del agua en el HCl 100 y NaOH 150, concentrando previamente el NaOH y el HCl. El vapor 320 alimentado al primer efecto NaOH 310 puede estar entre aproximadamente 690 kilopascales (kPa) (100 libras por pulgada cuadrada (psi)) y aproximadamente 1103 kPa (160 psi) y tener una temperatura de aproximadamente 160 °C (320 °F) y aproximadamente 190 °C (375 °F). A medida que el vapor 320 fluye a través de los efectos 310, 312, 316, 318, la presión del vapor 320 disminuye a entre aproximadamente 413 kPa (60 psi) y aproximadamente 7 kPa (1 psi), y la temperatura del vapor 320 disminuye a entre aproximadamente 150 °C (300 °F) y aproximadamente 37 °C (100 °F). El vapor 320 del segundo efecto HCl 318 se alimenta a un condensador de contacto directo 322, que usa la corriente de agua de enfriamiento 324 para condensar el vapor 320 y una pequeña cantidad de vapor de HCl (menos de aproximadamente 0,1 por ciento en volumen (% en volumen) en el vapor 320) para producir una corriente de agua de enfriamiento de retorno 325 que contiene el vapor condensado y el HCl. En consecuencia, el evaporador de preconcentración 308 aumenta una concentración del NaOH 150 de aproximadamente el 7 % en peso de NaOH a aproximadamente el 15 % en peso de NaOH, y una concentración del HCl 100 de aproximadamente el 7 % en peso de HCl a aproximadamente el 15 % en peso de HCl. El flujo inverso del HCl 100 y el NaOH 150, en comparación con el flujo de vapor 320, disminuye la viscosidad de NaOH, disminuye la pérdida de HCl en el agua de enfriamiento (por ejemplo, el vapor del efecto de concentración más baja de HCl (el segundo efecto HCl 318) se dirige al condensador de contacto directo 322), y puede reducir la vaporización instantánea en un distribuidor de alimentación del evaporador de preconcentración 308. Una bomba de vacío (por ejemplo, una bomba de vacío de anillo líquido) se puede utilizar para eliminar componentes no condensables del condensador de contacto directo 322. En determinadas realizaciones, el condensado caliente del evaporador de preconcentración puede utilizarse para calentar previamente el NaOH 150. A continuación, el condensado puede alimentarse a un enfriador y reciclarse a través del sistema de producción de HCl y NaOH 66.

Después de la preconcentración, el primer efecto NaOH 310 alimenta una corriente de NaOH preconcentrada 326 al evaporador de NaOH 302, en el que el NaOH se concentra para producir una corriente de NaOH concentrada 330 que tiene de aproximadamente el 40 % en peso a aproximadamente el 50 % en peso de NaOH y un condensado de NaOH 332. El condensado de NaOH 332 puede reciclarse en todo el sistema de producción de HCl y NaOH 66 (por ejemplo, alimentarse al sistema de ED 256), como se analiza a continuación. Similar al evaporador de preconcentración 308, el evaporador de NaOH 302 también puede ser un evaporador multiefectos de flujo inverso. El evaporador de NaOH 302 puede funcionar de manera similar al evaporador de preconcentración 308 con respecto a los efectos 310, 312, analizados anteriormente. La corriente de NaOH concentrada 330 puede tener NaCl sólido que puede haber precipitado durante la concentración (evaporación) de la corriente 326. Por lo tanto, el evaporador de NaOH 302 puede alimentar la corriente de NaOH concentrada 330 a una centrifuga 334. La centrifuga 334 elimina el NaCl precipitado y genera el NaOH de grado industrial concentrado 70. Una porción 335 de la corriente de salmuera de NaCl 250 del OI 248 se puede utilizar para volver a disolver la sal eliminada por la centrifuga 334, eliminando así el NaCl precipitado y generando una corriente de salmuera de NaCl de centrifuga 336. La corriente de salmuera de NaCl de centrifuga 336 puede combinarse con la corriente 250, y volverse a reciclar a través del sistema de ED 256. (Véase la figura 3).

El primer efecto HCl 316 alimenta una corriente de HCl previamente concentrada 340 al evaporador de HCl 300. El evaporador de HCl 300 puede ser una unidad de destilación de múltiples columnas. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el evaporador de HCl 300 incluye una primera columna de destilación 342 y una segunda columna de destilación 346. Las columnas 342, 346 pueden funcionar a diferentes presiones para facilitar la separación de HCl que forma un azeótropo con agua durante la destilación (por ejemplo, concentración de HCl de aproximadamente el 15 % en peso a aproximadamente el 20 % en peso). Por ejemplo, la primera columna de destilación 342 puede ser una columna de vacío que opera entre aproximadamente 13 kPa (2 psi) y aproximadamente 27 kPa (4 psi), y la segunda columna de destilación 346 puede operar entre aproximadamente 345 kPa (50 psi) y aproximadamente 485 kPa (70 psi). Se puede usar un cambiador de calor para vaporizar el agua y el HCl en el fondo de las columnas 342, 346. La primera columna de destilación 342 genera condensado de HCl 348 (entre aproximadamente el 0,01 % en peso y aproximadamente el 0,1 % en peso de HCl) y una corriente concentrada de HCl 350 (entre aproximadamente el 20 % en peso y aproximadamente el 30 % en peso de HCl). El condensado de HCl 348 puede reciclarse en todo el sistema de producción de HCl y NaOH 66 (por ejemplo, alimentarse al sistema de ED 256), como se analiza a continuación. Los materiales no condensables (por ejemplo, aire y ácido fluorhídrico (HF)) en la corriente 340 pueden eliminarse mediante una bomba de vacío (por ejemplo, una bomba de vacío de anillo líquido). El agua de reposición 254 y NaOH 150 (por ejemplo, aproximadamente el 4 % en peso de NaOH) se puede mezclar con los materiales no condensables para generar una corriente de purga de fluoruro de sodio 354. La corriente de purga de fluoruro de sodio 354 puede dirigirse al sistema de extracción de yeso 140, como se ilustra en la figura 3. El NaF en la corriente de

purga 354 puede reaccionar con el calcio soluble (por ejemplo, calcio que no ha precipitado) en el sistema de extracción de yeso 140 para formar fluoruro de calcio (CaF_2) sobre los cristales de yeso, eliminando así el fluoruro de la corriente de salmuera 30.

5 La corriente de HCl concentrado 350 se alimenta a la segunda columna de destilación 346 para generar el HCl 72 que tiene aproximadamente el 35 % en peso de HCl. Además, la segunda columna de destilación 346 genera una purga de HCl 360 (que contiene entre aproximadamente el 5 % en peso y aproximadamente el 15 % en peso de HCl), que se recicla a la primera columna de destilación 342, como se ilustra con la flecha 362. Una porción 364 de la purga de HCl 360 se elimina de la corriente reciclada 362 para purgar impurezas de sal no volátiles (NaCl y NaHSO_4) en la purga de HCl 360, que puede precipitarse en la segunda columna de destilación 346. La porción 364 puede dirigirse hacia el sistema de ED 284 y combinarse con el NaCl diluido 294 (véase las figuras 2 y 3).

15 Volviendo a la figura 3, el condensado de NaOH 332 del evaporador de NaOH 302 se alimenta al compartimento cáustico 268 de la unidad de MBED 260. De manera similar, el condensado de HCl 348 se alimenta al compartimento de ácido 266 de la unidad de MBED 260. Los condensados 332, 348 generan reposición de NaOH 368 y reposición de HCl 370, respectivamente. La reposición de NaOH 368 y la reposición de HCl 370 se alimentan a sus respectivos compartimentos (por ejemplo, el compartimento cáustico 268 y el compartimento de ácido 266) en la unidad de MBED 268, como se ilustra con las flechas 374, 378. De esta manera, la unidad de MBED 268 genera el HCl 100 y el NaOH 150.

20 Las realizaciones actuales también incluyen un sistema de tratamiento de aguas residuales, por ejemplo, el sistema 10, que usa un suavizante para eliminar compuestos de dureza (por ejemplo, calcio y magnesio) de la corriente de salmuera 30 aguas arriba del sistema de extracción de minerales 32. Por ejemplo, la figura 5 es un diagrama de bloques de una realización de la planta de extracción de minerales 34 configurada para reducir la salinidad de la corriente de salmuera 30. Como se describió previamente, el sistema de extracción de minerales 32 recibe la corriente de salmuera 30 del sistema de OI 20. Como se puede apreciar, la corriente de salmuera 30 puede contener diversos elementos y/o compuestos de dureza. Por ejemplo, la corriente de salmuera 30 puede contener diversas sales y minerales tales como, pero no se limitan a, NaCl , SO_4 , Ca , Mg , y/o SiO_2 . En determinadas realizaciones, la corriente de salmuera 30 puede contener de aproximadamente 3,0 g/l (3000 ppm) a aproximadamente 8,0 g/l (8000 ppm) de NaCl , de aproximadamente 3,0 g/l (3000 ppm) a aproximadamente 8,0 g/l (8000 ppm) de SO_4 , de aproximadamente 0,1 g/l (100 ppm) a aproximadamente 0,4 g/l (400 ppm) de Mg , de aproximadamente 0,2 g/l (200 ppm) a aproximadamente 0,6 g/l (600 ppm) de Ca , y/o de aproximadamente 0,05 g/l (50 ppm) a aproximadamente 0,2 g/l (200 ppm) de SiO_2 . Además, en determinadas realizaciones, la corriente de salmuera 30 puede tener un intervalo de pH de entre aproximadamente 4 y aproximadamente 8. Por ejemplo, la corriente de salmuera 30 puede tener un pH de aproximadamente 6.

35 En la realización ilustrada, la corriente de salmuera 30 fluye a través de un suavizante de intercambio iónico 386 (por ejemplo, como un AmberliteTM IRC747 fabricado por The Dow Chemical Company de Midland, Michigan) donde una porción sustancial (por ejemplo, aproximadamente mayor al 99 %) de minerales de dureza se eliminan. Por ejemplo, el suavizante de intercambio iónico 386 elimina los cationes divalentes (por ejemplo, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} y Ba^{2+}) de la corriente de salmuera 30, reduciendo así la dureza de la corriente de salmuera 30. En funcionamiento, una resina dentro del suavizante de intercambio iónico 386 absorbe los iones divalentes de la corriente de salmuera 30 para generar una corriente de salmuera ablandada 388. La corriente de salmuera ablandada 388 puede tener aproximadamente menos de 0,015 g/l (15 ppm) de Ca , Mg , Sr y Ba . El hierro (Fe) y el manganeso (Mn) en la corriente de salmuera 30 se mantienen en un estado divalente reducido (por ejemplo, Fe (II) y Mn (II)) de modo que puedan eliminarse como especies disueltas sin incrustación de la resina suavizante. La corriente de salmuera 30 también puede contener bicarbonato (HCO_3). Como se analiza a continuación, el suavizante de intercambio iónico 386 puede convertir el bicarbonato en el CO_2 180. El CO_2 180 puede eliminarse en el separador de aire 178 aguas abajo del suavizante de intercambio iónico 388, generando así una corriente de salmuera ablandada desgasificada 390. En determinadas realizaciones, se usan múltiples etapas en el separador de aire 178 para permitir un bajo residuo de CO_2 (por ejemplo, menos de aproximadamente 2 ppm de CO_2). Un residuo bajo de CO_2 puede inhibir la reforma y la incrustación de carbonato cuando aumenta el pH de la corriente de salmuera ablandada 388 durante las diversas etapas de tratamiento de salmuera aguas abajo. La corriente de salmuera ablandada desgasificada 390 se desaliniza para generar el agua desalinizada 28, como se analiza en detalle a continuación.

55 Antes de la desgasificación, la salmuera ablandada 388 puede calentarse con el intercambiador de calor 96 entre aproximadamente 32 °C (90 °F) y aproximadamente 50 °C (122 °F). El intercambiador de calor 96 puede usar vapores de vacío de un evaporador cáustico dentro del sistema de producción de HCl y NaOH 66 para calentar la salmuera ablandada 388. En determinadas realizaciones, la salmuera ablandada 388 puede mezclarse con el HCl 100 (por ejemplo, entre aproximadamente el 6 % en peso y aproximadamente el 8 % en peso de HCl) aguas arriba del separador de aire 178 y aguas abajo del intercambiador de calor 96. El HCl 100 puede disminuir el pH de la salmuera ablandada 388 a menos de aproximadamente 4, convirtiendo así cualquier bicarbonato residual en CO_2 . Como debe señalarse, el HCl 100 puede ser generado por el sistema de producción de HCl y NaOH 66.

65 Durante el reblandecimiento de la corriente de salmuera 30, el suavizante de intercambio iónico 386 puede saturarse con los iones divalentes (por ejemplo, minerales de dureza). En consecuencia, el suavizante de intercambio iónico 386

puede tratarse con el HCl 100 para eliminar los iones divalentes absorbidos de la resina suavizante, regenerando así la resina suavizante. El tratamiento del suavizante de intercambio iónico 386 con el HCl 100 genera una corriente de salmuera de cloruro de suavizante 392, que incluye los iones de dureza y divalentes (por ejemplo, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} y SO_4^{2-}) y cloruro de sodio (NaCl). La corriente de salmuera de cloruro de suavizante

392 se alimenta al sistema de extracción de minerales 32 para la extracción de minerales, como se analiza en detalle a continuación. Además de añadir el HCl 100, el suavizante de intercambio iónico 386 puede tratarse con el NaOH 150 (por ejemplo, entre aproximadamente el 0,1 % en peso y aproximadamente el 4 % en peso). El NaOH 150 puede neutralizar al menos una porción del suavizante de intercambio iónico 386 después de la regeneración (por ejemplo, eliminación de especies divalentes de dureza) de la resina suavizante con el HCl 100. Por ejemplo, el NaOH 150 neutraliza la resina al convertir una porción de la resina suavizante de una forma ácida (H^+) 393 a una forma de sodio (Na^+) 394. Por lo tanto, en determinadas realizaciones, la resina suavizante puede estar en las formas ácida y sódica (por ejemplo, neutra) 393, 394, respectivamente. La forma de sodio 394 puede eliminar la dureza y las especies de iones divalentes de la corriente de salmuera 30 a través del intercambio iónico entre el Na y los elementos divalentes (por ejemplo, Ca y Mg), mientras que la forma de ácido 393 puede convertir el bicarbonato en la corriente de salmuera 30 en el CO_2 180. Como tal, puede que no sea necesario añadir HCl 100 adicional aguas abajo del suavizante de intercambio iónico 386 para la eliminación del bicarbonato.

Se puede ajustar una concentración de NaOH 150 basándose, al menos en parte, en una cantidad de bicarbonato en la corriente de salmuera 30. Por ejemplo, si la concentración del bicarbonato en la corriente de salmuera 30 es alta (por ejemplo, mayor que aproximadamente 200 mg/l (200 ppm)), la concentración del NaOH 150 puede disminuirse de modo que se neutralice menos resina suavizante. Es decir, al añadir NaOH 150 menos concentrado al suavizante de intercambio iónico 386, se puede neutralizar menos de la forma ácida 393 de la resina a la forma de sodio 394. Por lo tanto, puede haber más ácido disponible en la resina suavizante para convertir el bicarbonato en CO_2 en las corrientes de salmuera que tienen una alta concentración de bicarbonato. De manera similar, si la concentración de bicarbonato es baja (por ejemplo, menos de aproximadamente 50 mg/l (50 ppm)), se puede usar una concentración más alta de NaOH 150 (por ejemplo, entre aproximadamente el 4 % en peso y el 5 % en peso) o un flujo más alto para neutralizar una porción más grande de la resina suavizante. El efluente generado por la neutralización del suavizante de intercambio iónico 386 es esencialmente agua desalinizada. Por ejemplo, los iones de sodio en el NaOH 150 son absorbidos por la resina suavizante y los iones hidróxido (OH^-) en el NaOH 150 reaccionan con el ácido (H^+) en la resina suavizante para generar un efluente de agua desalinizada (por ejemplo, la una o más corrientes de agua más desalinizadas 36). El efluente de agua desalinizada puede combinarse con la corriente de agua desalinizada 28.

Como se analizó anteriormente, la corriente de salmuera ablandada desgasificada 390 se desaliniza para producir el agua desalinizada 28. Si bien se eliminan la dureza y los compuestos/elementos formadores de incrustaciones y otros compuestos formadores de incrustaciones como sílice (SiO_2) y sulfato de sodio (Na_2SO_4). A diferencia de la realización en la figura 2, el sistema de NF 116 en esta realización particular está aguas abajo del separador de aire 178. En consecuencia, la corriente de salmuera ablandada desgasificada 390 se dirige al sistema de NF 116 que elimina una o más de las otras especies productoras de incrustaciones (por ejemplo, SO_4) de la corriente de salmuera ablandada desgasificada 390. La corriente de salmuera ablandada desgasificada 390 puede mezclarse con el antiincrustante 108 aguas arriba de la unidad de NF 120. El antiincrustante 108 puede mitigar la precipitación de sílice en la corriente de salmuera ablandada desgasificada 390. Los ejemplos no limitantes del antiincrustante 108 incluyen fosfonatos tales como el ácido 1-hidroxietilideno 1,1-difosfónico (HEDP) u otras formulaciones patentadas de antiincrustantes de sílice Vitec 4000 (Avista Technologies Inc), Genesys SI (Genesys International Ltd). Además, en determinadas realizaciones, el NaOH 150 se puede añadir a la corriente de salmuera ablandada desgasificada 390. El NaOH 150 ajusta el pH de la corriente de salmuera ablandada desgasificada 390 a más de aproximadamente 4. Por ejemplo, el NaOH 150 puede aumentar el pH de la salmuera ablandada desgasificada 390 a entre aproximadamente 4 y aproximadamente 7. El aumento del pH puede causar la precipitación de determinados compuestos dentro de la salmuera ablandada desgasificada 390. Por lo tanto, la salmuera ablandada desgasificada 390 se puede filtrar antes de alimentar al sistema de NF 116. Por ejemplo, la salmuera ablandada desgasificada 390 se puede filtrar a través del filtro 110. El filtro 110 puede eliminar los sólidos precipitados (por ejemplo, hidróxido de hierro) formados durante el ajuste del pH de la salmuera ablandada desgasificada 390. En determinadas realizaciones, el filtro 110 puede ser un cartucho de filtro de 2-8 micrómetros. Sin embargo, cualquier otro tamaño de filtro adecuado puede usarse para eliminar los sólidos.

El sistema de NF 116 puede incluir de 2 a 4 etapas de ósmosis inversa y membranas de nanofiltración que eliminan el sulfato de la corriente de salmuera ablandada desgasificada 390, como se analizó anteriormente. En consecuencia, el sistema de NF 116 puede generar una corriente de permeado de NF ablandada 396 que tiene menos de aproximadamente 20 % de sulfato. Una corriente de no permeado de NF ablandada 398 puede dirigirse al sistema de extracción de minerales 32, como se analiza en detalle a continuación. La corriente de permeado de NF ablandada 396 puede incluir aproximadamente el 80 % o más de sílice y cloruro, y sulfato residual. Por lo tanto, la corriente de permeado de NF ablandada 396 se dirige al sistema de ED 190 para la eliminación de los cloruros y el sulfato residual, generando así el agua desalinizada 28. El agua desalinizada 28 incluye la mayor parte de la sílice (por ejemplo, más de aproximadamente 80 %) de la corriente de salmuera 30.

Además de tener cloruros y sulfato residual, la corriente de permeado de NF ablandada 396 también puede incluir arsénico (As). Por ejemplo, como se analizó anteriormente, la corriente de salmuera 30 puede tener arsénico disuelto debido al tratamiento de aguas subterráneas salobres aguas arriba del sistema de extracción de minerales 32. La unidad de NF 116 no elimina el arsénico disuelto. Por lo tanto, para cumplir con los estándares de agua potable, la corriente de permeado de NF ablandada 396 puede tratarse con el agente oxidante 186, por ejemplo, hipoclorito de sodio u otro oxidante adecuado. En determinadas realizaciones, el agente oxidante 186 puede añadirse a la corriente de salmuera ablandada desgasificada 390 aguas arriba del sistema de NF 116. El agente oxidante 186 oxida el arsénico y genera arseniato (H_2AsO_4^-). Dependiendo del pH de la corriente de permeado de NF ablandada 396, el pH puede ajustarse con HCl 100 o NaOH 150 de modo que la corriente de permeado de NF ablandada 396 tenga un pH de aproximadamente 5. A pH 5, el arseniato está en forma iónica (por ejemplo, AsO_4^{3-}). Por lo tanto, el arseniato, en forma iónica, puede eliminarse mediante el sistema de ED 190. La corriente de salmuera de ED 196 puede dirigirse al sistema de extracción de minerales 32 (por ejemplo, como una corriente de agua de reposición) a través del sistema de producción de HCl y NaOH 66, donde se separa en la corriente del producto HCl 72, la corriente del producto NaOH 70, una corriente de purga de sulfato de sodio y cloruro de sodio 399 y las corrientes 400 y 401 de agua desalinizada. La corriente 400 disminuye la concentración de NaCl y SO_4 en la corriente de salmuera de ED 196. Al eliminar la dureza y los compuestos/elementos divalentes en la corriente de salmuera 30 antes de que la corriente 30 se alimente al sistema de NF 116, el sistema de ED 190 puede utilizar membranas no selectivas para generar las corrientes de agua desalinizada 36. Las membranas no selectivas generalmente tienen un coste menor en comparación con las membranas selectivas de iones (por ejemplo, membranas selectivas monovalentes). Por lo tanto, los costes operativos y de mantenimiento generales del sistema 10 pueden disminuir, en comparación con los sistemas que emplean membranas selectivas de iones en todo el sistema y no tienen un suavizante (por ejemplo, el suavizante de intercambio iónico 386).

Como se analizó anteriormente, el sistema de extracción de minerales 32 recibe la corriente de salmuera de suavizante 392, la corriente de no permeado de NF ablandada 398, el vapor de purga de sulfato de sodio y cloruro de sodio 399 y la corriente de agua desalinizada 401. El sistema de extracción de minerales 32 extrae minerales (por ejemplo, dureza y compuestos/elementos divalentes, sales de cloro y sulfato) de las corrientes respectivas 392, 398 y 401, generando así el yeso 46, el magnesio 54 y otros compuestos (por ejemplo, sal 50, bromo 58 y potasa 62). Por ejemplo, en la realización ilustrada, la corriente 392 se dirige al sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168. En funcionamiento, el sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168 está configurado para recuperar Mg en forma de hidróxido de magnesio 54. La corriente 392 puede tratarse con cáustico (por ejemplo, el NaOH 150) y el agente oxidante 186 aguas arriba del sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168. El agente antioxidante 186 oxida las especies férricas Fe_2^+ a Fe^{3+} . El NaOH 150 ajusta el pH de la corriente 392 a entre aproximadamente 5 y aproximadamente 7, lo que permite la formación y precipitación de hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). El hidróxido férrico se puede eliminar filtrando la corriente 392 a través de un filtro 404.

En determinadas realizaciones, la corriente filtrada 392 puede tratarse con un cáustico adicional para aumentar el pH a entre aproximadamente 8 y aproximadamente 10, precipitando así manganeso y generando manganeso de grado industrial. En otras realizaciones, tanto el manganeso como el hierro pueden precipitarse en una sola etapa ajustando el pH de la corriente 392 antes de la filtración a entre aproximadamente 8 y aproximadamente 10, en lugar de antes de filtrar en el filtro 404. En lugar de en un procedimiento de dos etapas, por ejemplo, primero ajustando el pH a entre aproximadamente 5 y aproximadamente 7 para precipitar el hidróxido férrico antes de filtrar la corriente 392 en el filtro 404, a continuación ajustando el pH a entre aproximadamente 8 y aproximadamente 10 después de filtrar la corriente 392 en el filtro 404 para precipitar manganeso.

El filtro 404 puede regenerarse periódicamente añadiendo HCl 100 (por ejemplo, entre aproximadamente el 5 % en peso y aproximadamente el 20 % en peso de HCl). El HCl 100 disuelve el hierro y el manganeso, regenerando así el filtro 404. El efluente de filtro acidificado 406 que contiene el hierro disuelto y, en determinadas realizaciones, el manganeso, puede alimentarse a un sistema de extracción de yeso 140. El efluente de filtro acidificado 406 puede usarse como coagulante en el sistema de extracción de yeso 140 o puede concentrarse y venderse como coagulante comercial. Una corriente de salmuera filtrada 408 se dirige al sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168. Si bien, en el sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168, la corriente de salmuera filtrada 408 se trata con cal 40 o entre aproximadamente el 7 % en peso y el 12 % en peso de cáustico (por ejemplo, NaOH 150) del sistema de producción de HCl y NaOH 66. Por ejemplo, la corriente de salmuera filtrada 408 se puede tratar con la cal 40 cuando una relación molar Ca/SO_4 en la corriente de salmuera filtrada 408 es inferior a aproximadamente 1. Es decir, cuando una concentración de SO_4 en la corriente de salmuera filtrada 408 es mayor que una concentración de Ca. En contraste, cuando la relación molar Ca/SO_4 en la corriente de salmuera filtrada 408 es mayor que aproximadamente 1, la corriente de salmuera filtrada 408 puede tratarse con NaOH 150. La cal 40 y el NaOH 150 permiten la precipitación de $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 54, recuperando así el $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 54 (entre aproximadamente el 50 % en peso a aproximadamente el 70 % en peso de $\text{Mg}(\text{OH})_2$) y de la corriente de salmuera 30. El $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 54 recuperado puede venderse como un producto de grado industrial.

Después de la recuperación de magnesio en el sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168, una corriente de salmuera efluente 412 se dirige al sistema de extracción de yeso 140. El sistema de extracción de yeso 140 recupera el Ca y el SO_4 de la corriente de salmuera efluente 412 para generar el yeso 46. En realizaciones en las que la relación Ca/SO_4 es mayor que 1, la corriente de salmuera efluente 412 puede tratarse con el HCl 100 (entre aproximadamente

- el 6 % en peso y aproximadamente el 8 % en peso de HCl) para ajustar el pH de la corriente de salmuera efluente 412 a entre aproximadamente 7 y aproximadamente 8. Al menos una porción de la corriente de salmuera efluente con pH ajustado 412 se alimenta a un sistema de ED 414. La unidad de ED 414 puede extraer una porción del calcio en la corriente de salmuera efluente 412, generando así salmuera de cloruro de calcio (CaCl_2) 234 que tiene entre aproximadamente el 15 % en peso y aproximadamente el 35 % en peso de CaCl_2 . La salmuera de CaCl_2 234 puede estar disponible como un producto comercial. Una corriente diluida de ED 418 que contiene el sulfato de sodio y cloruro de calcio y el cloruro de sodio restante se alimenta al sistema de extracción de yeso 140 para la extracción de Ca y SO_4 para generar el yeso 46.
- El sistema de extracción de yeso 140 puede incluir el mezclador 142, el sedimentador 146 y el filtro 148 que facilitan la extracción del yeso 46 de la corriente de salmuera (por ejemplo, la corriente de permeado de ED 418). En determinadas realizaciones, la corriente 418 puede tratarse con el agente oxidante 186 para convertir cualquier arsénico residual a arseniato, como se analizó anteriormente, aguas arriba del sistema de extracción de yeso 140. El Ca y el SO_4 en la corriente 418 reaccionan en el sistema de extracción de yeso 140 para precipitar el yeso 46. En determinadas realizaciones, de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 70 % del SO_4 se elimina de la corriente 418. La presencia de cristales de semillas del yeso 46 en el mezclador 142 (por ejemplo, un mezclador turbulento) que funciona a un pH neutro (por ejemplo, un pH de aproximadamente 6 a aproximadamente 8) puede facilitar la cinética de precipitación del yeso 46, permitiendo así una rápida precipitación de yeso. Las partículas de yeso 54 pueden formar una suspensión y, por lo tanto, pueden mezclarse bien con el agua. En consecuencia, mientras está en el mezclador 142, la corriente 418 puede tratarse con el efluente de filtro acidificado 406 para coagular (agrupar) las partículas del yeso 46 y facilitar la separación de las partículas de yeso del agua. Por ejemplo, como se analizó anteriormente, el efluente de filtro acidificado 406 incluye hidróxido férrico, que puede usarse como coagulante.
- Además de la precipitación de yeso, también precipita fluoruro de calcio insoluble (CaF_2) en el mezclador 142, eliminando así una porción sustancial del fluoruro de la corriente 418; reduciendo así la incrustación de fluoruro en los sistemas de ED aguas abajo. En el sedimentador 146, los cristales de yeso se depositan y la solución saturada casi libre de sólidos se decanta. Una pequeña cantidad de salmuera con sal ablandada 419 se recicla al desbordamiento del sedimentador para aumentar la solubilidad del yeso y desaturar la corriente de salmuera, reduciendo así la incrustación en las unidades aguas abajo. Los fondos del sedimentador pueden dirigirse a un hidroción y el filtro 148 para lavar (por ejemplo, con agua desalinizada) y concentrar el yeso 46 en una torta de filtro lavable vendible. En determinadas realizaciones, la torta de filtro puede incluir de aproximadamente el 70 % en peso a aproximadamente el 100 % en peso de yeso 46. Por ejemplo, la torta de filtro puede incluir aproximadamente el 90 % en peso de yeso 46. Por tanto, el yeso 46 se proporciona como la salida 160 del sistema de extracción de yeso 160. La corriente de desbordamiento de sólidos finos del hidroción se recicla al mezclador 142 como cristales de semillas. El filtrado del filtro 148 se recicla al sedimentador 142. En determinadas realizaciones, el efluente del sedimentador 146 se trata con bisulfato de sodio (NaHSO_4) para eliminar cualquier agente oxidante residual 186. Por ejemplo, el NaHSO_4 puede reaccionar con hipoclorito de sodio para producir SO_4 y cloruro.
- El sistema de extracción de yeso 140 puede extraer de aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 75 % del calcio recibido de la corriente 418 como yeso 46, y producir una corriente de salmuera de NaCl 420. La corriente de salmuera de NaCl 420 incluye también el SO_4 y el cloruro generado durante el tratamiento del filtrado del filtro 148 y el efluente del sedimentador 146 con NaHSO_4 . La corriente de salmuera de NaCl 420 también puede incluir magnesio y calcio residuales que no se extrajeron en los sistemas de extracción 140, 168. Por ejemplo, la corriente de salmuera de NaCl 420 puede contener menos de aproximadamente 5-9 g/l de yeso 54 y menos de aproximadamente 0,4 g/l de cloruro de magnesio. Por lo tanto, la corriente de salmuera 420 se alimenta a un suavizante de intercambio iónico 424 antes de dirigirse a un sistema de ED 428 de recuperación de antiincrustante dentro del sistema de extracción de minerales 32. Similar a los suavizantes 220, 386, el suavizante de intercambio iónico 424 elimina el magnesio y el calcio residuales de la corriente de salmuera 420, generando así una corriente de salmuera ablandada 430. De esta manera, las membranas de electrodiálisis selectivas de iones generalmente utilizadas en sistemas de electrodiálisis pueden reemplazarse por membranas de ED no selectivas más rentables. El suavizante de intercambio iónico 424 se trata con HCl 100 y NaOH 150 y una corriente de salmuera de cloruro 432 (por ejemplo, CaCl_2 , MgCl_2) se produce y se combina con la corriente 408 aguas abajo del filtro 404 para facilitar la recuperación del calcio y el magnesio.
- La corriente de salmuera ablandada 430 y la corriente de purga de sulfato de sodio y cloruro de sodio 399 del sistema de producción de HCl y NaOH 66 se dirige a un sistema de NF 436. El sistema de NF 436 permite la eliminación del sulfato de la corriente de salmuera ablandada 430 y genera una corriente de permeado de NF ablandada 438 que tiene más de aproximadamente 40 g/l de NaCl y una corriente de no permeado de NF ablandada 440. La corriente de no permeado de NF ablandada 440 puede incluir entre aproximadamente 50 g/l y 70 g/l de sólidos disueltos totales, que incluyen Ca y SO_4 . Por lo tanto, la corriente de no permeado de NF ablandada 440 se dirige al sistema de extracción de yeso 140 para recuperar el Ca y el SO_4 como el yeso 46. En determinadas realizaciones, la corriente de salmuera ablandada 430 puede combinarse con la corriente de no permeado de NF ablandada 398 aguas arriba del sistema de NF 436. Las corrientes 398, 430 pueden neutralizarse con HCl 100 (entre aproximadamente el 5 % en peso y aproximadamente el 8 % en peso de HCl) y se filtra con un filtro 442 (similar a los filtros 110, 404) antes de ser alimentado al sistema de NF 436. El filtro 442 puede bloquear sustancialmente que la incrustación de yeso no pase al sistema de NF 436. En determinadas realizaciones, una porción de la corriente de salmuera ablandada 430 puede reciclarse al sedimentador de yeso 146. La salmuera reciclada puede desaturar el efluente del sedimentador 146 y

reducir la incrustación de yeso en el sistema de recuperación de yeso 140.

Además de tener una alta concentración de Na-Cl, la corriente de efluente 430 del suavizante también incluye el antiincrustante 108. Puede ser deseable recuperar y reciclar el antiincrustante 108 utilizado en todo el sistema 10. La recuperación y reciclaje del antiincrustante 108 puede disminuir los costes operativos generales del sistema 10 al disminuir los costes asociados con la adquisición del antiincrustante 108. En consecuencia, una porción 446 de la corriente de efluente 430 del suavizante, la corriente de permeado de NF ablandada 438 y la corriente de agua desalinizada 401 se dirige al sistema de ED de recuperación de antiincrustante 428 para recuperar el antiincrustante 108. En la realización ilustrada, el sistema de ED de recuperación de antiincrustante 428 incluye una unidad de ED de primera etapa 448, una unidad de ED de segunda etapa 450 y una unidad de ED de tercera etapa 452. Sin embargo, como debe apreciarse, el sistema de ED de recuperación de antiincrustante 428 puede incluir más o menos etapas. Por ejemplo, el sistema de ED de recuperación de antiincrustante 428 puede incluir una, dos, tres, cuatro, cinco o más etapas de ED. Las unidades de ED 448, 450 y 452 pueden usar membranas selectivas de cationes y aniones o membranas no selectivas para eliminar arseniato residual, calcio y magnesio de la corriente de permeado de NF ablandada 438. Por ejemplo, la corriente de permeado de NF ablandada 438 se alimenta a un lado de concentrado y la porción 401 de la corriente de efluente 430 del suavizante se alimenta a un lado de dilución de la unidad de ED de primera etapa 448, y la unidad de ED de primera etapa 448 extrae cloruro de sodio (NaCl) y arseniato residual de la porción 401 de la corriente de efluente 430 del suavizante en la corriente de permeado de NF ablandada 438. La unidad de ED de primera etapa 448 puede funcionar a un pH de aproximadamente 4 a aproximadamente 7. El pH más alto permite la ionización del arsénico para generar arseniato, facilitando así la eliminación del arsénico de la corriente de permeado de NF ablandada 438. Al pH operativo de la unidad de ED de primera etapa 448, la sílice en la segunda corriente de permeado de NF ablandada 438 no es iónica. Por lo tanto, la unidad de ED de primera etapa 448 puede no eliminar sílice. Como tal, una corriente de concentrado de ED de primera etapa 456 puede incluir aproximadamente menos de 100 ppm de sílice. Una corriente de dilución de ED de primera etapa 458 que tiene el antisellador 108 se alimenta a la unidad de ED de segunda etapa 450. La corriente de concentrado de ED de primera etapa 456 se dirige al sistema de producción de HCl y NaOH 66 y se usa para la producción de HCl y NaOH (por ejemplo, el HCl 72, 100 y el NaOH 70, 150), como se analiza en detalle a continuación con referencia a la figura 6. En determinadas realizaciones, se puede ajustar un pH de la corriente de dilución de ED de primera etapa 458 mediante la adición de HCl 100 (entre aproximadamente el 6 % en peso y aproximadamente el 8 % en peso de HCl). Por ejemplo, el pH de la corriente de dilución de ED de primera etapa 458 puede reducirse a menos de aproximadamente 3. De esta manera, el cloruro férrico (Fe(III)Cl₃) añadido aguas arriba del suavizante 192 puede liberarse del antisellador 108, y el antisellador 108 puede recuperarse en la unidad de ED de tercera etapa 452.

La corriente de dilución de ED de primera etapa 458 incluye sales de cloruro tales como, pero no se limitan a, cloruro de calcio, cloruro de magnesio, cloruro de hierro y otros. La unidad de ED de segunda etapa 450 (por ejemplo, ED de extracción con cloruro mixto) extrae una porción sustancial (por ejemplo, de aproximadamente el 65 % al 80 %) del cloruro de magnesio, cloruro de calcio y cloruro de sodio de la corriente de dilución de ED de primera etapa 458 usando membranas permselectivas monovalentes aniónicas para producir una corriente diluida de ED de segunda etapa 460 y una corriente de concentrado de ED de segunda etapa 462. La corriente 462 puede concentrarse con cloruro de magnesio, cloruro de calcio y salmuera de cloruro de sodio (por ejemplo, de aproximadamente el 3 al 25 % en peso). La corriente de concentrado de ED de segunda etapa 462 puede combinarse con la corriente de salmuera de suavizante 392 del suavizante y reciclarse nuevamente a través y reciclarse nuevamente a través de los sistemas de extracción 140, 168. Debido a que la corriente de concentrado de ED de segunda etapa 462 puede tener una mayor concentración de calcio y magnesio, el agua de reposición del sistema de producción de HCl y NaOH 66 se puede alimentar a la unidad de ED de segunda etapa 450 como se indica con la flecha 400 para diluir la corriente de concentrado de ED de segunda etapa 462 y mitigar la incrustación en los sistemas 140, 168.

La unidad de ED de tercera etapa 452 recibe la corriente de concentrado de ED de segunda etapa 460 y usa membranas no selectivas para eliminar el Na₂SO₄ residual de la corriente de concentrado de segunda etapa 460 y recuperar el antiincrustante 108. Similar a la unidad de ED de segunda etapa 450, la unidad de ED de tercera etapa 452 también puede recibir agua de reposición 400 del sistema de producción de HCl y NaOH 66 para diluir la salida de salmuera de sulfato de sodio 468 de la unidad de ED de tercera etapa 452. La unidad de ED de tercera etapa 452 dirige la salmuera de sulfato de sodio 468 al sistema de extracción de yeso 140. La tercera unidad de ED 452 también genera una corriente de antiincrustante regenerado 454. La corriente de antiincrustante regenerado 454 puede dirigirse a diversas corrientes y/o componentes del sistema 10 de tal manera que el antiincrustante 108 pueda ser reutilizado por el sistema 10 (por ejemplo, en los sistemas de NF 116, 436). En determinadas realizaciones, el antiincrustante regenerado 108 puede proporcionarse como un producto comercial de grado industrial.

La figura 6 es una realización del sistema de producción de HCl y NaOH 66 que puede ser utilizado por la planta de extracción de minerales 34 para generar HCl y NaOH (por ejemplo, el HCl 72, 100 y el NaOH 70, 150). Como se analizó anteriormente, el sistema de producción de HCl y NaOH 66 recibe las corrientes 196, 456 de los sistemas de ED 190, 468. El sistema de producción de HCl y NaOH 66 incluye el absorbedor 224 que recibe la corriente de salmuera de ED 196. Como se analizó anteriormente, la corriente de salmuera de ED 196 puede incluir arsénico. El absorbedor 224 puede eliminar el arsénico de la corriente de salmuera de ED 146. Antes de alimentar la corriente de salmuera de ED 196 al absorbedor 224, la corriente 196 puede tratarse con bisulfato de sodio (NaHSO₃). El bisulfato de sodio reacciona con el agente oxidante residual 186 que se usó para oxidar el arsénico aguas arriba del sistema

de NF 116. Por ejemplo, la reacción del bisulfato de sodio y el agente oxidante residual 186 (por ejemplo, hipoclorito de sodio) produce especies de cloruro y sulfato no oxidantes, bloqueando así la oxidación de las resinas de intercambio iónico aguas abajo y las membranas por el agente oxidante residual 186. El absorbedor 224 puede usar absorbentes desechables de un solo uso (por ejemplo, para salmueras con bajo contenido de arsénico) o absorbentes regenerables (por ejemplo, para salmueras con alto contenido de arsénico). En realizaciones en las que el absorbedor 224 usa absorbentes regenerables, el absorbente puede regenerarse periódicamente con NaOH 150 y salmuera de NaCl (por ejemplo, a partir del concentrado de ED de primera etapa 456). Una primera corriente rica en arsénico 472 puede mezclarse con una solución de cloruro férrico (FeCl₃) para generar arseniato férrico. El arseniato férrico puede eliminarse de la primera corriente de salmuera rica en arsénico 472 con un filtro 476, generando así una corriente pobre de arsénico filtrado 478. La corriente pobre de arsénico filtrado 478 es mayor que aproximadamente el 98 % de NaCl. La corriente pobre de arsénico filtrado 478 se recicla nuevamente a través del absorbedor 224, que elimina arsénico adicional del absorbente regenerable.

La corriente de salmuera concentrada 480 del absorbedor se alimenta a un sistema de NF 482, que elimina más de aproximadamente el 90 % de sulfato residual, más de aproximadamente el 75 % de calcio y magnesio residual, y menos de aproximadamente el 25 % de cloruro de la corriente de salmuera concentrada 480 del absorbedor. El sistema de NF 482 puede incluir al menos 2 etapas de NF. Una corriente de permeado de NF 484 se alimenta al sistema de OI 248 y una corriente de no permeado de NF 486 se dirige al sistema de extracción de minerales 32. La corriente de no permeado de NF 486 incluye el sulfato residual, calcio, magnesio y cloruro de la corriente de salmuera de ED 196, que se recupera como yeso 46 y Mg(OH)₂ 54 en el sistema de extracción de minerales 32. En determinadas realizaciones, la corriente de no permeado de NF 486 se mezcla con la corriente de salmuera ablandada 430 aguas arriba del sistema de NF 436. En otras realizaciones, la corriente de no permeado de NF 486 se alimenta al sistema de ED de recuperación de antiincrustante 428.

La corriente de permeado de NF 484 tiene un bajo contenido de sulfato (por ejemplo, aproximadamente 0,1-0,5 g/l (100-500 ppm)) y más de aproximadamente el 3 % de cloruro (por ejemplo, aproximadamente de 40 g/l (40 000 ppm) a 60 g/l (60 000 ppm) NaCl). Como tal, la corriente de permeado de NF 484 puede usarse para producir el HCl 72, 100 y el NaOH 70, 150. Por ejemplo, el sistema de OI 248 separa la corriente de permeado de NF 484 en la corriente de salmuera de NaCl 250 (por ejemplo, que tiene entre aproximadamente 75 g/l y aproximadamente 115 g/l de NaCl) y el agua de reposición 254 (por ejemplo, una corriente de permeado de OI de baja salinidad que tiene menos de aproximadamente 1 g/l (100 ppm) de NaCl). El NaCl en la corriente de salmuera de NaCl 250 es NaCl de alta pureza que tiene más de aproximadamente el 99 % en peso de NaCl. Por lo tanto, la corriente de salmuera de NaCl 250 puede usarse para generar cáusticos con certificación NSF 60 (por ejemplo, NaOH 70, 150) y HCl (por ejemplo, HCl 72,100), según el estándar 60 de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) (NSF 60). Debido a que el sistema 10 está configurado para generar NaOH y HCl con certificación NSF 60 durante la operación, los costes asociados con la adquisición de NaOH y HCl con certificación NSF 60 pueden reducirse.

El agua de reposición 254 (por ejemplo, el agua de reposición 399, 400) se puede usar para varios procedimientos dentro del sistema 10. Por ejemplo, en una realización, el agua de reposición 254 se puede alimentar al sistema de ED 428 de recuperación de antiincrustante (por ejemplo, las unidades de ED de segunda y tercera etapa 450 y 452), como se ilustra con la flecha 400. En determinadas realizaciones, el agua de reposición 254 puede alimentarse al sistema de ED 190, como se ilustra con la flecha 399. Además, el agua de reposición 254 puede alimentarse a ambos sistemas de ED 190, 428. El agua de reposición 254 también puede usarse como reposición de torres de enfriamiento y otros usos de agua no potable (por ejemplo, agua de lavado, riego, etc.).

El sistema de producción de HCl y NaOH 66 también incluye las unidades de MBED 258, 260, 490 (por ejemplo, Electromat Electrodialysis y Bipolar Electrodialysis fabricadas por GE Power and Water de Trevose, PA) que permiten la producción de HCl 72, 100 y NaOH 70, 150 como se analizó anteriormente con referencia a la figura 3. Las unidades de MBED 258, 260 y 490 pueden ser tres membranas celulares que incluyen la sección de salmuera 264, la sección de ácido 266 y la sección cáustica 268. En la realización ilustrada, la unidad MBED 258 recibe la corriente de salmuera de NaCl 250 del sistema de OI 248. Además de recibir la corriente de salmuera de NaCl 250, la unidad MBED 258 también recibe el HCl de reposición 370 (que tiene de aproximadamente el 0,5 % en peso a aproximadamente el 4 % en peso de HCl) y el NaOH de reposición 368 (que tiene de aproximadamente el 0,5 % en peso a aproximadamente el 4 % en peso de NaOH) de la unidad de MBED 490 (por ejemplo, MBED de reposición) para facilitar la producción de HCl 100 y NaOH 150. Dentro de la unidad de MBED 258 (por ejemplo, MBED de exportación), el cloruro se extrae de la corriente de salmuera de NaCl 250 para producir una corriente de HCl 492 (por ejemplo, de aproximadamente el 4 % en peso a aproximadamente el 7 % en peso de HCl) y una corriente de NaOH 494 (por ejemplo, de aproximadamente el 5 % en peso al 12 % en peso de NaOH). La corriente de HCl 492 se alimenta al evaporador de HCl 300 y la corriente de NaOH 494 se alimenta al evaporador de NaOH 302 (por ejemplo, un evaporador de vacío). La corriente de salmuera de ED 280 puede combinarse con la corriente de salmuera concentrada 480 para mitigar la acumulación de sulfato residual.

Los evaporadores 300, 302 concentran la corriente de HCl 492 y la corriente de NaOH 494, respectivamente, generando así el HCl de grado industrial concentrado 72 (entre aproximadamente el 15 % en peso a aproximadamente el 20 % en peso de HCl) y el NaOH de grado industrial concentrado 70 (entre aproximadamente el 30 % en peso y aproximadamente el 50 % en peso de NaOH). Como debe observarse, al menos una porción de la corriente de HCl

492 y la corriente de NaOH 494 se puede usar para proporcionar el HCl 100 y el NaOH 150, respectivamente, a las diversas corrientes y componentes del sistema 10. En determinadas realizaciones, el evaporador de HCl 300 es un sistema de evaporador mecánico de recompresión de vapor (RMV). El sistema de evaporador RMV incluye un condensador y un compresor. Durante la concentración de la corriente de HCl 492, el evaporador de HCl 300 genera vapor de agua. El vapor de agua y el HCl pueden formar un azeótropo, dando como resultado la presencia de HCl en el vapor de agua. Por lo tanto, una porción del agua de reposición 254 del sistema de OI 248 puede alimentarse al evaporador de HCl 300, como se ilustra con la flecha 496. La porción del agua de reposición 496 puede usarse como agua de lavado para eliminar el HCl del vapor de agua. La eliminación de HCl del vapor de agua puede mitigar los efectos indeseables del HCl en otros componentes del evaporador 300 (por ejemplo, el compresor). En determinadas realizaciones, el agua de lavado gastada 498 (que tiene aproximadamente menos del 1 % en peso de HCl) puede dirigirse a la sección de ácido 266 de la MBED 260 y usarse como ácido de reposición para la producción de una corriente de HCl 500. La corriente de HCl 500 puede ser alimentada al compartimento de ácido 266 de la MBED 490, facilitando así la producción del HCl de reposición 370 proporcionado a la MBED 258. En otras realizaciones, el agua de lavado gastada 498 puede formar parte del HCl 100.

Similar al evaporador 300, el evaporador de NaOH 302 (por ejemplo, un evaporador al vacío) genera una corriente de vapor de agua 502 durante la concentración de la corriente de NaOH 494. La corriente de vapor de agua 502 puede alimentarse al intercambiador de calor 96 para calentar la corriente de salmuera ablandada 388 aguas arriba del separador 178. Después de transferir calor en el intercambiador de calor 96, el vapor de agua condensado puede alimentarse a la MBED 258 como agua de reposición.

Como se analizó anteriormente, la corriente concentrada de ED de primera etapa 456 se dirige al sistema de producción de HCl y NaOH 66 para facilitar la producción del HCl 72, 100 y el NaOH 70, 150. La corriente concentrada de ED de primera etapa 456 puede tener una gran cantidad de NaCl (por ejemplo, entre aproximadamente 30 g/l (30 000 ppm) y aproximadamente 60 g/l (60 000 ppm) de NaCl), que pueden usar las unidades de MBED 258, 260 y 490 para generar HCl y NaOH. En consecuencia, la corriente concentrada de ED de primera etapa 456 puede alimentarse a la unidad de MBED 490. La unidad de MBED 490 puede usar la corriente concentrada de ED de primera etapa 456 para generar la reposición de HCl 370 y la reposición de NaOH 368 alimentados a la unidad de MBED 258. Sin embargo, antes de alimentar la corriente concentrada de ED de primera etapa 456 a la unidad de MBED 490, la corriente concentrada de ED de primera etapa 456 puede tratarse con el agente oxidante 186 para ionizar arseniato y permitir la eliminación del arseniato en un absorbedor 506. El absorbedor 506 funciona de manera similar al absorbedor 224 analizado anteriormente. El absorbente 506 puede funcionar a un pH de entre aproximadamente 5 y aproximadamente 6. El pH en el absorbedor 506 junto con un tiempo de residencia de entre aproximadamente 1 minuto y aproximadamente 5 minutos puede minimizar la coabsorción de sílice (aproximadamente 0,01 g/l (100 ppm) de sílice) en la corriente 456. En determinadas realizaciones, la corriente 456 puede tratarse con bisulfato de sodio (NaHSO₄) para eliminar el agente oxidante residual 186 antes de eliminar el arsénico en el absorbedor 506. Una segunda corriente rica en arsénico 508 se combina con la primera corriente rica en arsénico 472 y se alimenta al quinto filtro 476 para generar la corriente pobre en arsénico 478, como se analizó anteriormente. Una corriente de salmuera de NaCl 510 se alimenta a la unidad de MBED 490, generando así las corrientes de reposición de HCl y NaOH 368 y 370, respectivamente, y una corriente de salmuera de MBED 512. Las secciones 266, 268 de la unidad de MBED 490 también reciben la corriente de HCl 500 de la unidad de MBED 260 y el agua de reposición 254, como se ilustra con la flecha 514, y el condensado cáustico del evaporador de NaOH 302.

La corriente de salmuera de MBED 512 (que tiene entre aproximadamente 15 g/l y aproximadamente 50 g/l de NaCl) se alimenta a la unidad de MBED 260 (por ejemplo, una MBED de consumo interno de NaOH). Además, la sección de ácido 266 de la unidad de MBED 260 recibe el agua de lavado gastada 498 del evaporador de HCl 300 para permitir la producción de la corriente de HCl 500. La sección cáustica 268 de la unidad de MBED 260 se alimenta de una corriente de salmuera de MBED 520 generada en el compartimento de salmuera 264 de la MBED 260. La corriente de salmuera de MBED 520 puede tener menos de aproximadamente 5 g/l (5000 ppm) de NaCl, y permite la producción del NaOH 150 utilizado para regenerar los suavizantes 386, 424 y ajustar el pH de diversas corrientes dentro del sistema 10.

Las realizaciones actuales también incluyen un procedimiento que utiliza el suavizante 386 para eliminar la dureza y los elementos/compuestos divalentes de la corriente de salmuera 30 aguas arriba de la unidad de NF 116 y el sistema de extracción de minerales 32. El sistema de producción de HCl y NaOH 66 puede alimentar HCl y NaOH para regenerar el suavizante 386 y permitir la recuperación de la dureza y los elementos/compuestos divalentes. De esta manera, los costes operativos del sistema 10 pueden reducirse debido, en parte, al uso de membranas no selectivas menos costosas en los sistemas de ED 190, 428 (en comparación con las membranas selectivas de iones de mayor coste), la recuperación del antiincrustante 108, y la producción de HCl y NaOH con certificación NSF 60 (por ejemplo, HCl 72, 100 y NaOH 70, 150). La figura 7 es un diagrama de flujo de un procedimiento 530 mediante el cual un sistema de tratamiento de aguas residuales (por ejemplo, el sistema de tratamiento de aguas residuales 10 descrito anteriormente) puede eliminar la dureza y los elementos divalentes de una corriente de salmuera (por ejemplo, la corriente de salmuera 30), recuperar el antiincrustante (por ejemplo, el antiincrustante 108) y generar HCl y NaOH (por ejemplo, el HCl 72, 100 y el NaOH 72, 150). En determinadas realizaciones, el sistema de OI 20 suministra el suavizante de intercambio iónico 386 con la corriente de salmuera 30 para generar la corriente de salmuera ablandada 388 y la corriente de salmuera de suavizante 392 (bloque 532), como se describió anteriormente con referencia a la

ES 2 762 210 T3

figura 5. El suavizante de intercambio iónico 386 elimina Ca, Mg, Fe, Mn, Sr, Ba y otros compuestos de dureza de la corriente de salmuera 30. Además, el suavizante de intercambio iónico 386 convierte el bicarbonato en CO₂.

5 Por lo tanto, la cantidad de HCl 100 utilizada en el sistema 10 puede disminuir. Por ejemplo, en general, la corriente de salmuera 30 se trata con HCl para convertir el bicarbonato en CO₂. Sin embargo, debido a que el suavizante de intercambio iónico 386 está configurado para convertir el bicarbonato en CO₂, la corriente de salmuera 30 puede no necesitar ser tratada con HCl, reduciendo así el uso de HCl.

10 El procedimiento 530 también incluye tratar la corriente de salmuera ablandada 388 con el antiincrustante 108 (bloque 534) y dirigir la corriente de salmuera ablandada 388 al sistema de NF 116 y al sistema de ED 190 para generar agua desalinizada 28 y la corriente de salmuera de ED 196 (bloque 538). En determinadas realizaciones, la corriente de salmuera ablandada 388 incluye sílice (SiO₂) que puede causar incrustación durante la desalinización de la corriente de salmuera ablandada 388 en el sistema de NF 116. Por lo tanto, la corriente de salmuera ablandada 388 puede tratarse con el antiincrustante 108 para mitigar el incrustamiento. El sistema de NF 116 elimina el sulfato (SO₄) de la corriente de salmuera ablandada 388, y el sistema de ED 190 elimina más del 95 % de NaCl de la corriente de salmuera ablandada 388, generando así el agua desalinizada 28 y la corriente de salmuera de ED 196 (salmuera de NaCl). Debido a que la mayor parte de la dureza y los compuestos divalentes (por ejemplo, más del 98 %) se eliminan en el suavizante de intercambio iónico 386, el sistema de ED 190 puede usar membranas no selectivas menos costosas para desalinizar el agua (por ejemplo, de la corriente de salmuera 30)

20 El procedimiento 530 incluye además alimentar la corriente de salmuera de suavizante 392 al sistema de extracción de minerales 32 y recuperar la dureza y los elementos/compuestos divalentes (bloque 542). Por ejemplo, la corriente de salmuera de suavizante 392 se alimenta al sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168 para recuperar el magnesio de la corriente de salmuera de suavizante 392, generando así el hidróxido de magnesio 54. El desbordamiento del sistema de extracción de hidróxido de magnesio 168 se alimenta al sistema de recuperación de yeso 140 para recuperar calcio y sulfato, produciendo así el yeso 46. El hidróxido de magnesio 54 y el yeso 46 pueden venderse como productos de grado industrial.

30 El procedimiento 530 también suministra la corriente de no permeado de NF ablandada 398 al sistema de extracción de minerales 32 y recupera el antiincrustante 108 para generar una salmuera de NaCl (por ejemplo, la corriente de concentrado de ED de primera etapa 456) (bloque 546). El antiincrustante recuperado 108 puede recircularse a través del sistema 10, disminuyendo así los costes asociados con la adquisición del antiincrustante 108. En determinadas realizaciones, el antiincrustante 108 puede venderse como un antiincrustante de grado industrial.

35 El procedimiento 530 también incluye el suministro de corrientes de salmuera de NaCl (por ejemplo, la corriente de salmuera de ED 196 y la corriente de concentrado de ED de primera etapa 456) desde el sistema de ED 190 y el sistema de ED de recuperación de antiincrustante 428 al sistema de producción de HCl y NaOH 66 para generar el HCl y el NaOH (por ejemplo, HCl 72, 100 y NaOH 70, 150) (bloque 548). Por ejemplo, el sistema de producción de HCl y NaOH 66 incluye los sistemas 482, 248 y las unidades de MBED 258, 260, 490 que facilitan la producción de HCl, 72, 100 y

45 NaOH 70, 150, como se analizó anteriormente con referencia a la figura 6. El HCl 72, 100 y NaOH 70, 150 generados por el sistema de producción de HCl y NaOH 66 tienen calidad con certificación NSF 60. El HCl y NaOH producidos pueden recircularse en todo el sistema 10 (por ejemplo, HCl 100 y NaOH 150) y/o pueden venderse como HCl y NaOH de grado industrial concentrado de alta pureza 72, 70. Debido a que el sistema 10 puede usar HCl 100 y NaOH 150 generado por el sistema de producción de HCl y NaOH 66, los costes asociados con la adquisición de HCl y NaOH certificados por el estándar 60 de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) pueden reducirse.

50 El procedimiento 530 incluye además dirigir el HCl 100 y el NaOH 150 a los suavizantes 386, 424 para generar la corriente concentrada de salmuera de cloruro 110 y regenerar los suavizantes 386, 424 (bloque 550). De esta manera, el sistema 10 puede continuar extrayendo y recuperando la dureza y los compuestos divalentes como productos de grado industrial.

55 Como se describió anteriormente, determinadas realizaciones del sistema de procesamiento de agua 10 usan suavizantes de intercambio iónico (por ejemplo, los suavizantes 386, 424) para generar corrientes de salmuera ablandadas (por ejemplo, corrientes 388, 486) aguas arriba de los sistemas de nanofiltración y electrodiálisis. De esta manera, la dureza y los iones divalentes pueden eliminarse de las corrientes de salmuera antes de la nanofiltración y la electrodiálisis, y permitir el uso de membranas no selectivas de menor coste en los sistemas de electrodiálisis (por ejemplo, los sistemas de ED 190, 428). Además, los suavizantes de intercambio iónico pueden convertir el bicarbonato en la corriente de salmuera (por ejemplo, la corriente de salmuera 30) en CO₂, disminuyendo así la cantidad de HCl utilizada por el sistema 10 (por ejemplo, en el tratamiento de la corriente de salmuera 30 para convertir el bicarbonato en el CO₂ 180). Además, el sistema de procesamiento de agua 10 puede recuperar y reciclar antiincrustante (por ejemplo, el antiincrustante 108) y generar HCl y NaOH con certificación NSF. Por lo tanto, los costes asociados con la adquisición de antiincrustantes, HCl y NaOH pueden reducirse. En consecuencia, el coste total de operación del sistema 10 también puede reducirse.

65

Si bien solo se han ilustrado y descrito determinadas características de la descripción en esta invención, muchas modificaciones y cambios se le ocurrirán a los expertos en la materia.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento, que comprende:

- 5 - tratar una primera corriente de salmuera (30) que comprende una pluralidad de minerales con un antiincrustante (108) para producir una salmuera tratada, donde la primera corriente de salmuera es proporcionada por un sistema de tratamiento de aguas residuales (10);
 - dirigir la salmuera tratada a un primer sistema de nanofiltración (NF) (116) dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al sistema de tratamiento de aguas residuales (10);
 10 - generar una primera corriente de permeado de NF (124) y una primera corriente de no permeado de NF (132) a partir de la salmuera tratada en el primer sistema de NF;
 - dirigir la primera corriente de no permeado de NF (132) a un sistema de extracción de minerales (32) dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al primer sistema de NF (116);
 15 - eliminar la pluralidad de minerales de la primera corriente de no permeado de NF (132) para generar una primera corriente de desbordamiento (154) en el sistema de extracción de minerales (32);
 donde la primera corriente de desbordamiento (154) comprende al menos una porción de la pluralidad de minerales;
 - dirigir una primera porción de la primera corriente de desbordamiento (154) a un sistema de producción de clorhidrato (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH) (66) dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al sistema de extracción de minerales (32), donde el sistema de producción de HCl y NaOH (66) comprende un segundo sistema de NF (104) configurado para recibir la primera porción de la primera corriente de desbordamiento (154) y para generar una segunda corriente de salmuera (216) a partir de la primera porción de la primera corriente de desbordamiento (154);
 20 - dirigir la segunda corriente de salmuera (216) a un tanque de alimentación de salmuera de ED (212);
 - dirigir una corriente (214) desde el tanque de alimentación de salmuera de ED (212) a un intercambiador de iones de lecho múltiple (210);
 25 - dirigir una corriente (236) desde el intercambiador de iones de lecho múltiple (210) a un primer sistema de electrodiálisis (ED) (256) dispuesto dentro del sistema de producción de HCl y NaOH (66) y acoplado de manera fluida al segundo sistema de NF (104), donde el primer sistema de ED (256) está configurado para generar HCl y NaOH a de la segunda corriente de salmuera (216); y
 30 - dirigir la primera corriente de permeado de NF (124) a un segundo sistema de ED (190) dispuesto aguas arriba y acoplado de manera fluida al sistema de producción de HCl y NaOH, donde el segundo sistema de ED (190) está configurado para generar una tercera corriente de salmuera (196) desde el primer vapor de permeado de NF (124) y hasta la salida de la tercera corriente de salmuera (196) al tanque de alimentación de salmuera de ED (212) del sistema de producción de HCl y NaOH (66).
 35

2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende dirigir una segunda porción de la primera corriente de desbordamiento (154) a un sistema de extracción de hidróxido de magnesio (168) configurado para extraer el magnesio de la segunda porción de la primera corriente de desbordamiento (154) y generar una segunda corriente de desbordamiento (170).
 40

3. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende combinar la segunda corriente de desbordamiento con la primera corriente de desbordamiento (154).

45 4. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende dirigir la segunda corriente de salmuera (216) a un suavizante de intercambio iónico (220) dispuesto aguas arriba del primer sistema de ED (256), y generar una corriente de salmuera de cloruro de calcio (234) y una primera corriente de salmuera de cloruro de sodio (230) de la segunda corriente de salmuera (216).

50 5. El procedimiento de la reivindicación 4, que comprende dirigir la primera corriente de salmuera de cloruro de sodio (230) al primer sistema de ED (256) y generar una segunda corriente de salmuera de cloruro de sodio (280).

6. El procedimiento de la reivindicación 5, que comprende dirigir la segunda corriente de salmuera de cloruro de sodio (280) al segundo sistema de NF (104) y combinar la segunda corriente de salmuera de cloruro de sodio (280) con la segunda corriente de salmuera (216).
 55

7. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende generar la primera corriente de desbordamiento (154) en un sistema de extracción de yeso (140) dispuesto dentro del sistema de extracción de minerales (32).

60 8. Un sistema, que comprende:

- un primer sistema de nanofiltración (NF) (116) configurado para generar una primera corriente de permeado de NF (124) y una primera corriente de no permeado de NF (132) de una primera corriente de salmuera (30) de un sistema de tratamiento de agua (10);
 65 - un sistema de extracción de minerales (32) dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al primer sistema de nanofiltración (116), donde el sistema de extracción de minerales (32) está configurado para recibir la primera

corriente de no permeado de NF (132) y para emitir una corriente de desbordamiento (162);

- 5 - un sistema de producción de clorhidrato (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH) (66) que comprende un segundo sistema de NF (104) dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al sistema de extracción de minerales (32), un tanque de alimentación de salmuera de ED (212) dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al segundo sistema de NF (104), un intercambiador de iones de lecho múltiple dispuesto aguas abajo y acoplado de manera fluida al tanque de alimentación de salmuera de ED (212) y un primer sistema de electrodiálisis (ED) (256), donde el segundo sistema de NF (104) está configurado para recibir la corriente de desbordamiento (162) del sistema de extracción de minerales (32) para generar una segunda corriente de salmuera (216), y el primer sistema de ED (256) está configurado para recibir una corriente (236) del intercambiador de iones de lecho múltiple (210) para generar HCl y NaOH; y
- 10 - un segundo sistema de ED (190) acoplado de manera fluida al primer sistema de NF (116) y al sistema de producción de HCl y NaOH (66), donde el segundo sistema de ED (190) está configurado para recibir la corriente de permeado de NF, para generar un tercera corriente de salmuera (196), y para emitir la tercera corriente de salmuera (196) al tanque de alimentación de salmuera de ED (212) del sistema de producción de HCl y NaOH
- 15 (66).

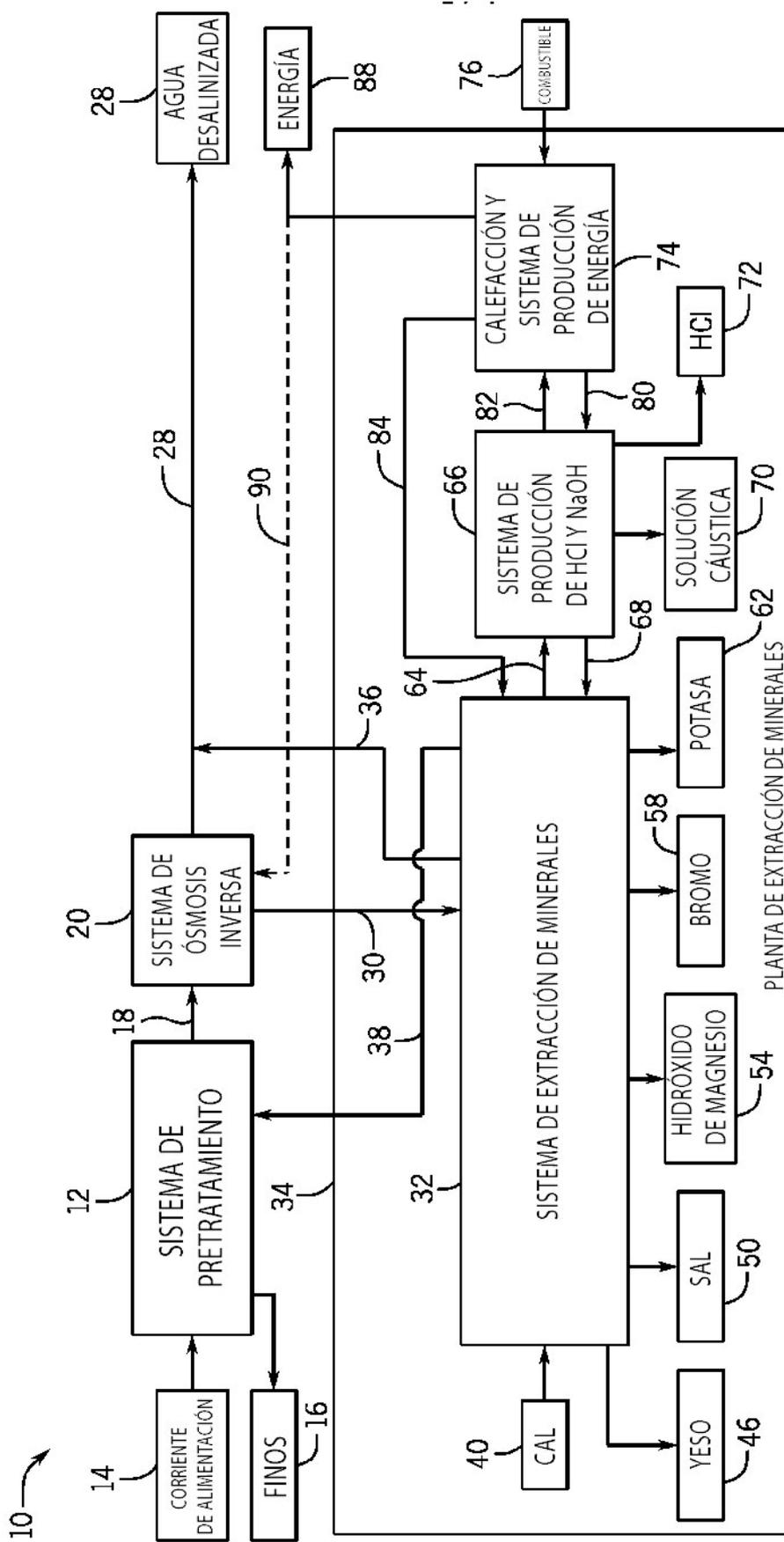


FIG. 1

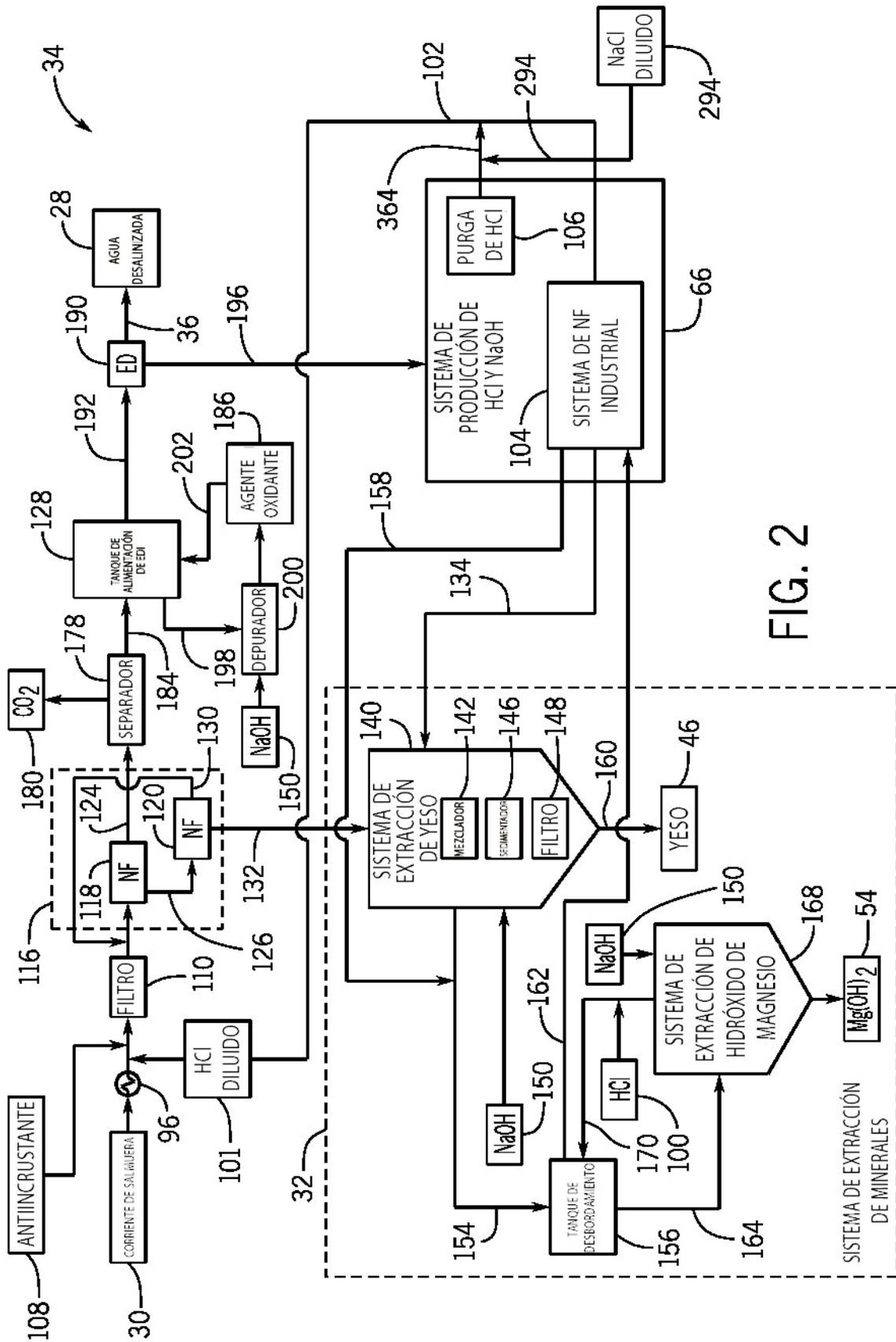


FIG. 2

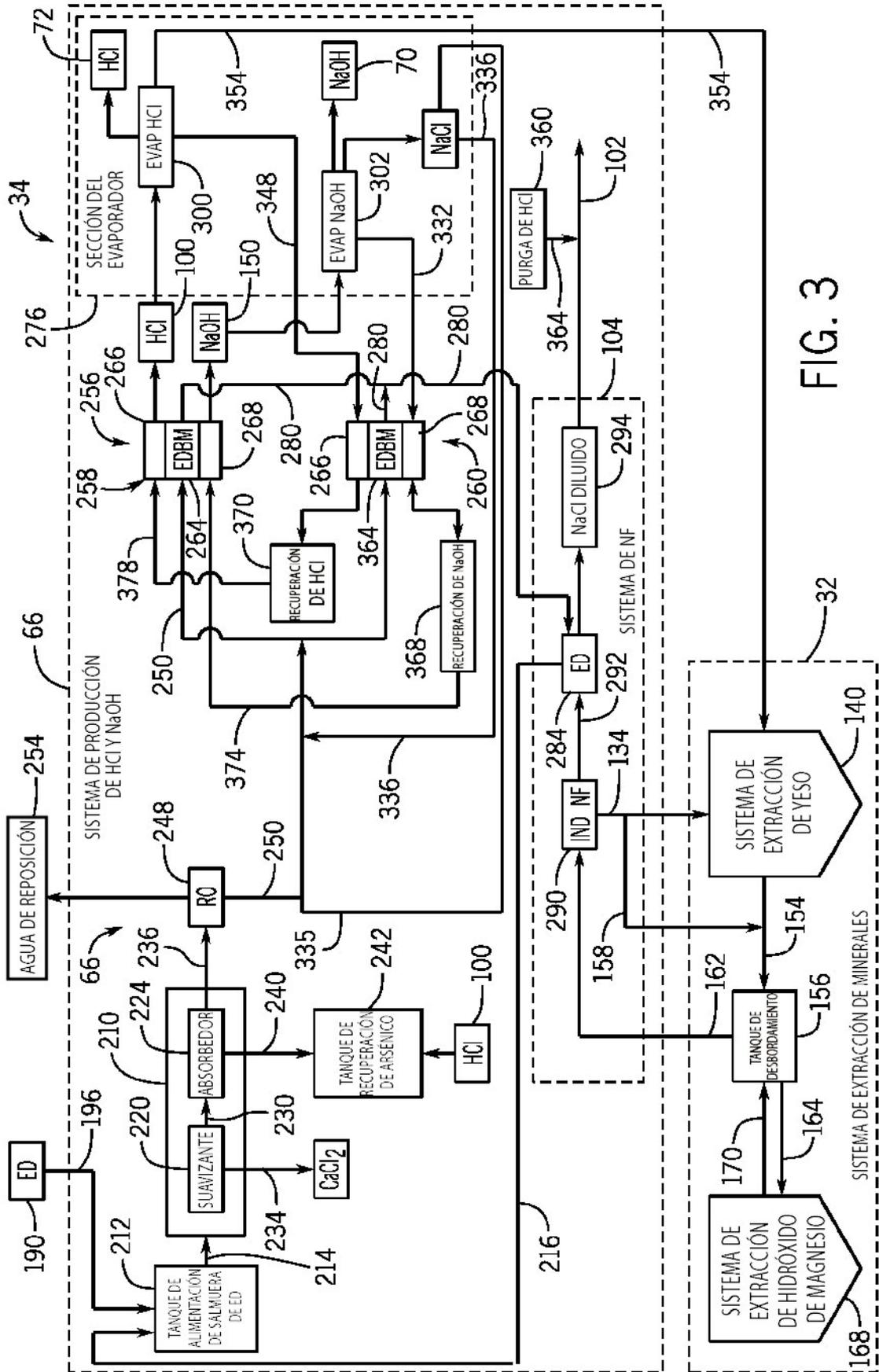


FIG. 3

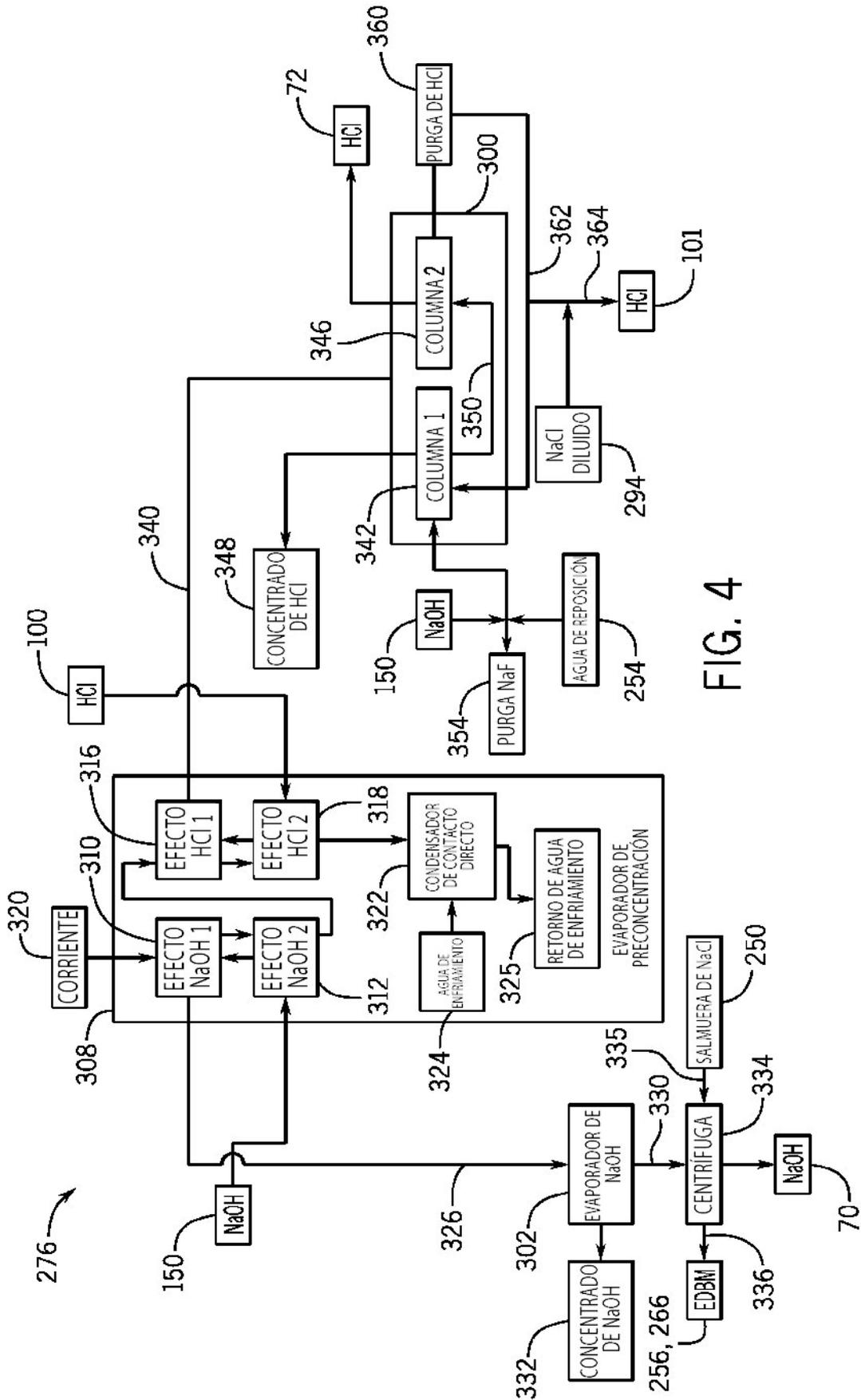


FIG. 4

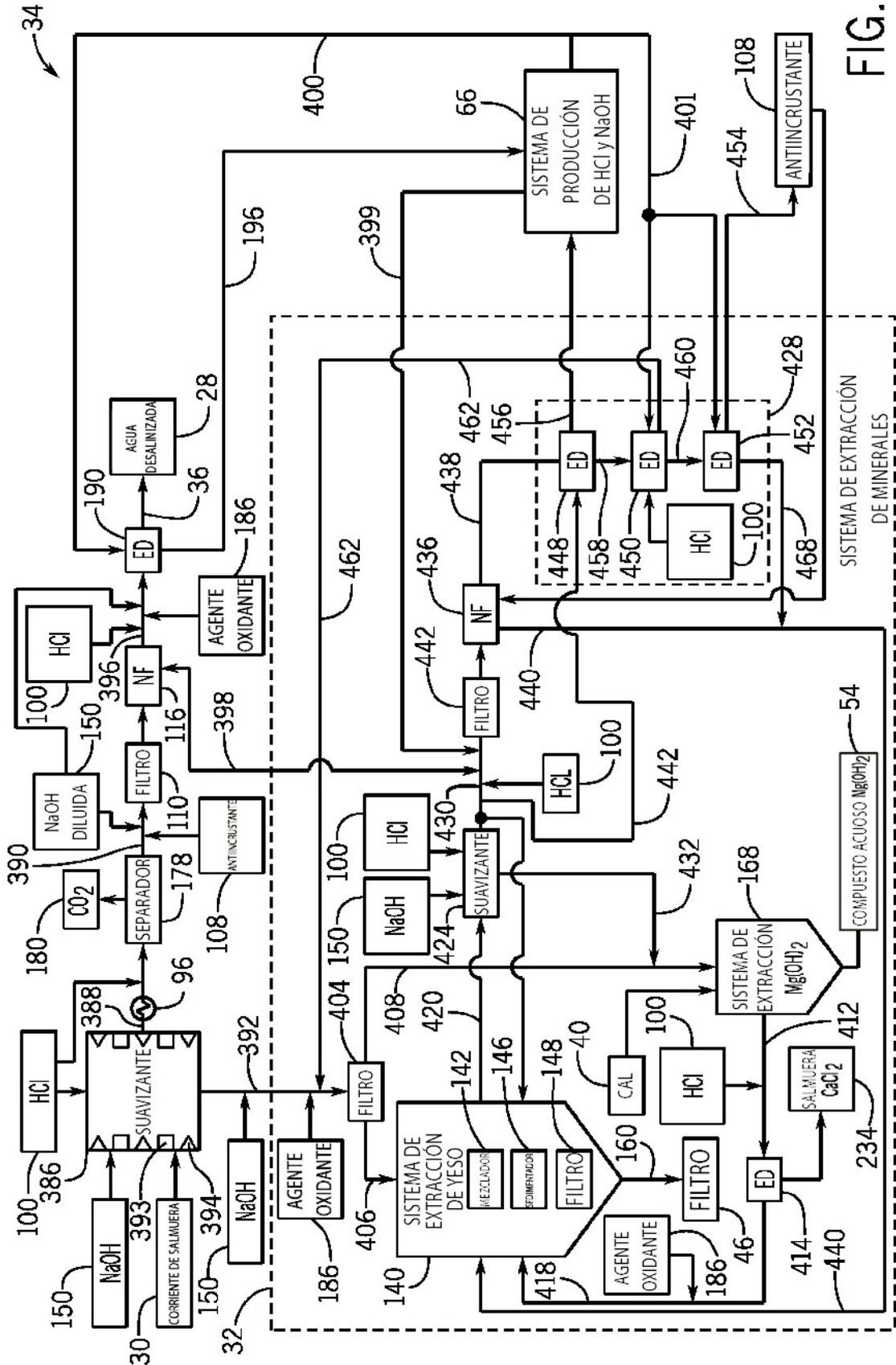


FIG. 5

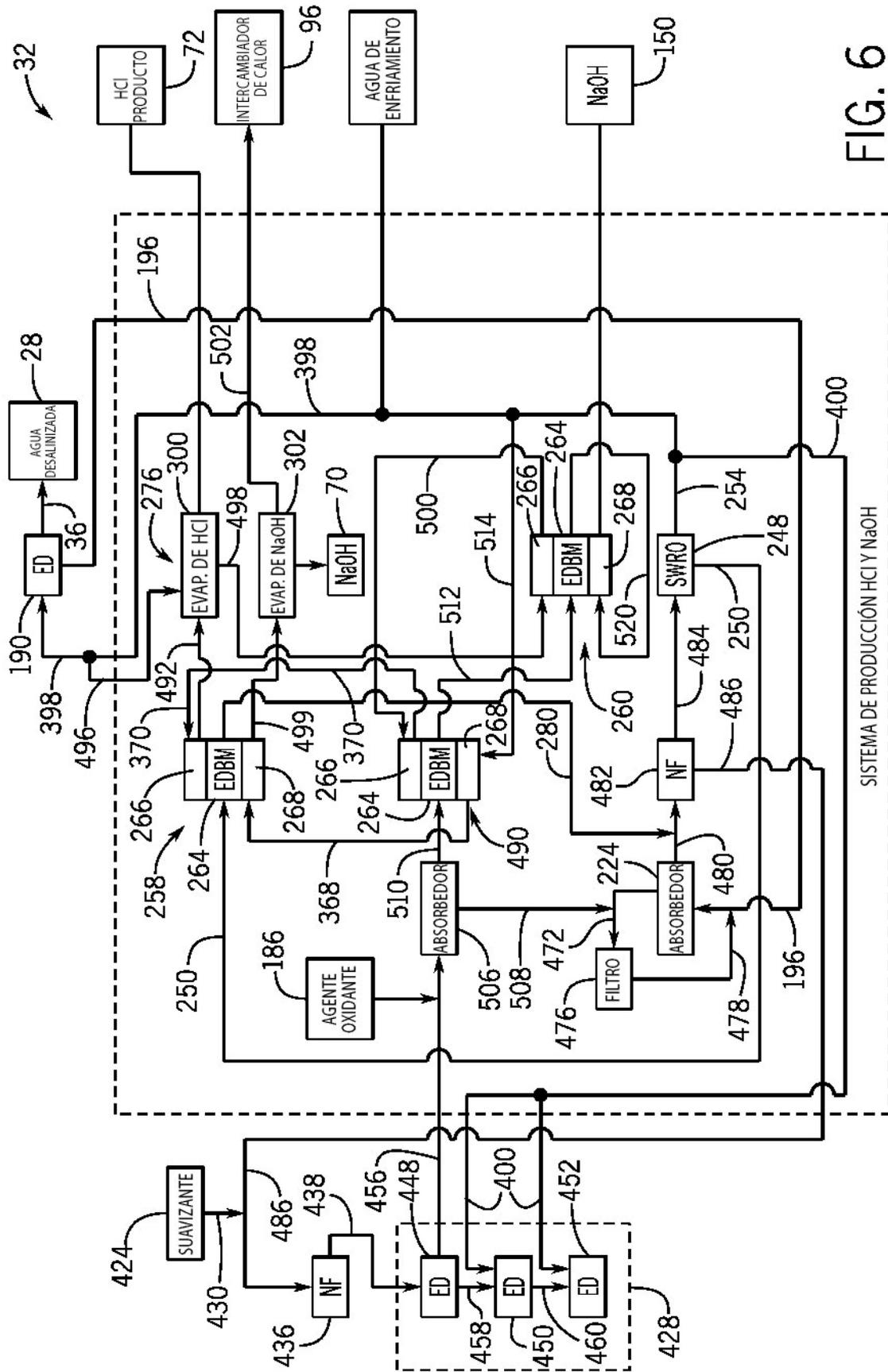


FIG. 6

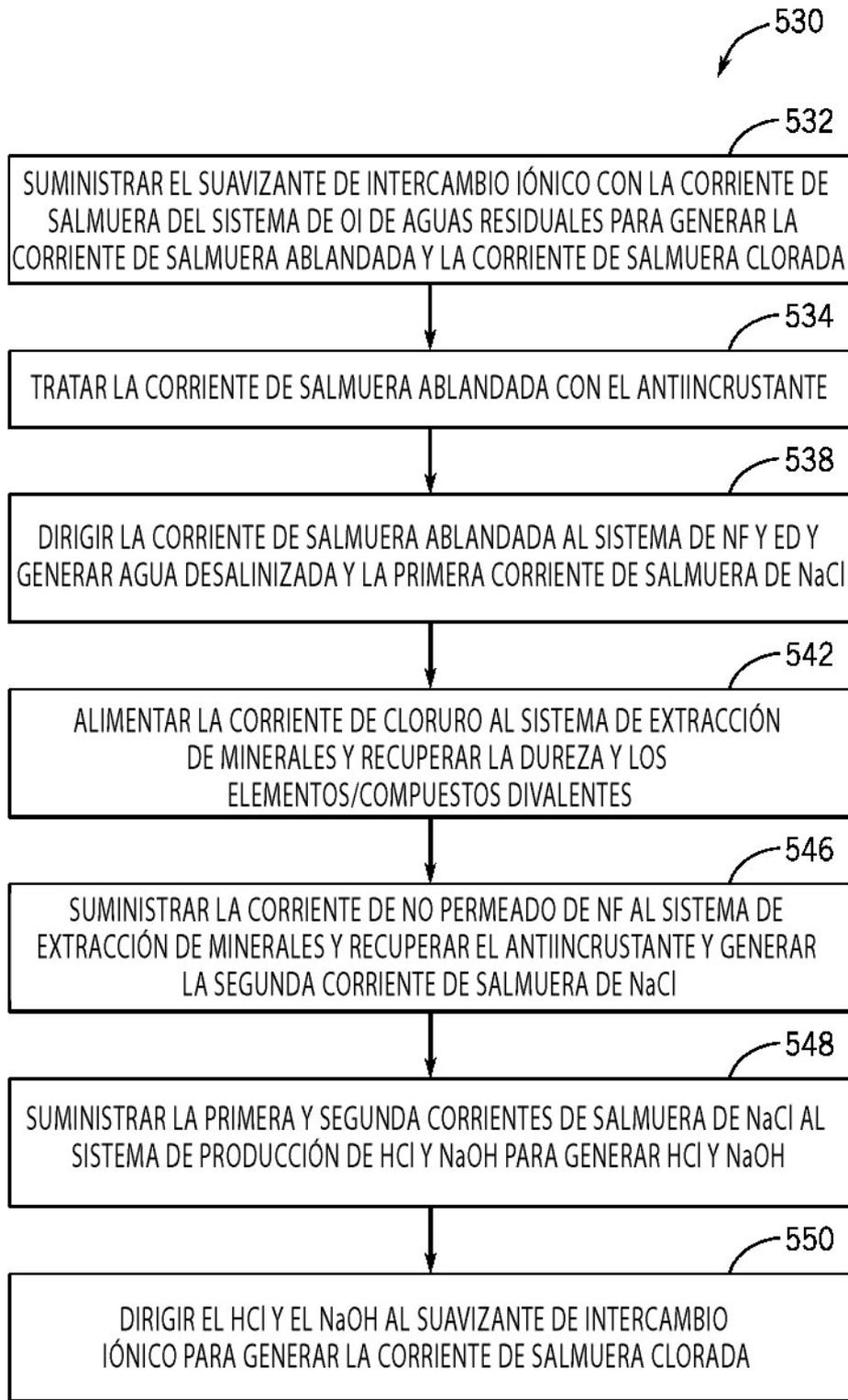


FIG. 7