

19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 898**

21 Número de solicitud: 201930814

51 Int. Cl.:

C02F 1/44 (2006.01)

C02F 9/00 (2006.01)

C02F 1/04 (2006.01)

C02F 103/10 (2006.01)

C02F 103/16 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

20.09.2019

30 Prioridad:

21.09.2018 EP 18195919

43 Fecha de publicación de la solicitud:

20.04.2020

71 Solicitantes:

**SUEZ GROUPE (100.0%)
Tour CB21, 16, Place de l'Iris
92040 PARIS LA DEFENSE FR**

72 Inventor/es:

**MARTIN GARCIA, Ignacio;
CAMPROVIN PORTILLO, Pere;
LEFÈVRE, Benoît y
GOMEZ PORTUGAL, Belinda**

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

54 Título: **Proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos para recuperar agua de un efluente líquido contaminado para su posterior reutilización**

57 Resumen:

Proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos para recuperar agua de un efluente líquido contaminado para su posterior reutilización.

El proceso de tratamiento de ZLD de la invención incluye al menos:

a) una etapa de desalinización: con un tratamiento mediante ósmosis inversa avanzada de alto grado de recuperación, se realizan varias limpiezas periódicas poniendo en contacto la superficie de membranas con agua con menor contenido en sales disueltas que el agua a tratar;

b) una etapa de concentración: el rechazo de la primera etapa se concentra aplicando ósmosis vibratoria, ósmosis directa o humidificación-deshumidificación;

c) una etapa de descarga cero de líquidos que actúa como un cristizador o un evapo-cristizador: el efluente líquido está alrededor del punto de saturación en el que la precipitación de las sales comienza a ocurrir, recuperando por evaporación el agua de rechazo de la etapa de concentración y produciendo una corriente de sólidos.

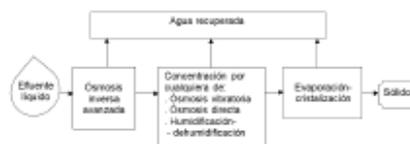


Fig. 1

ES 2 754 898 A2

DESCRIPCIÓN

Proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos para recuperar agua de un efluente líquido contaminado para su posterior reutilización

5

Campo tecnológico

La presente solicitud se refiere a una descarga cero de líquidos en la que es posible recuperar casi toda el agua de un efluente líquido contaminado para su reutilización, evitando el vertido completo o parcial. El proceso va reduciendo progresivamente el volumen del efluente líquido y concentrando los contaminantes hasta llegar a la última etapa del tratamiento. Se obtienen una corriente de agua descontaminada y un residuo sólido en el que se concentran todos los contaminantes.

10

Antecedentes de la técnica

15 La escasez de agua dulce, uno de los desafíos mundiales más críticos de nuestro tiempo, representa una gran amenaza para el crecimiento económico, la seguridad del agua y la salud de los ecosistemas. El desafío de proporcionar agua potable adecuada y segura se complica aún más por el cambio climático y las presiones del desarrollo económico y la industrialización. Los sectores público e industrial consumen cantidades sustanciales de agua dulce al tiempo que producen grandes cantidades de aguas residuales. Si no se trata adecuadamente, la descarga de aguas residuales en el medio ambiente acuático causa una grave contaminación que afecta negativamente a los ecosistemas acuáticos y a la salud pública.

20

La recuperación y el reciclaje de aguas residuales se ha convertido en una tendencia en aumento en la última década debido a la creciente demanda de agua. La reutilización de aguas residuales no solo minimiza el volumen y el riesgo ambiental de las aguas residuales vertidas, sino que también alivia la presión sobre los ecosistemas que resulta de la extracción de agua dulce. Mediante la reutilización, las aguas residuales ya no se consideran un "desperdicio puro" que potencialmente daña el medio ambiente, sino más bien un recurso adicional que se puede aprovechar para lograr la sostenibilidad del agua. La descarga cero de líquidos (ZLD, del inglés *zero liquid discharge*) es una estrategia ambiciosa de gestión de aguas residuales que elimina cualquier residuo líquido que salga de una planta o de los límites de una instalación, y la mayor parte del agua se recupera para su reutilización. La ZLD evita el riesgo de contaminación asociada con la descarga de aguas residuales y maximiza la eficiencia del uso del agua, logrando así un equilibrio entre la explotación de los recursos de

30

35

agua dulce y la preservación de los ambientes acuáticos.

Una instalación con descarga cero de líquidos (ZLD) se puede definir como una instalación en la que no hay descarga de efluentes al medio ambiente o los mismos no son eliminados por medios convencionales, tales como descargarlos en el sistema cloacal de saneamiento. Las plantas de descarga cero de líquidos utilizan tecnologías de tratamiento de efluentes que acondicionan todos los efluentes para su reutilización, ya sea para riego paisajístico o para reemplazar suministros convencionales de agua en un proceso industrial. La reutilización de efluentes reduce, tal como se ha mencionado anteriormente, la demanda de agua dulce.

Las tecnologías presentes en las instalaciones de tipo ZLD incluyen sedimentación, flotación por aire disuelto, filtración de media, filtración con carbón activado, la ultrafiltración y la ósmosis inversa. Las tecnologías a utilizar varían ampliamente según el caso. Por ejemplo, en la industria de generación eléctrica, los efluentes con grandes cantidades de sales generalmente requieren una etapa de evaporación, que separa los residuos sólidos para depositarlos en zonas de relleno. La evaporación produce agua limpia para su reutilización en procesos de enfriamiento o de otros tipos.

La minería es otra de las industrias que se pueden beneficiar de las instalaciones de ZLD para el tratamiento de sus efluentes, ya que los efluentes crudos de la minería son ácidos y extremadamente salinos, y con frecuencia contienen una gran cantidad de sedimentos. Un ejemplo de una planta de tratamiento en la industria de la minería que se ha dado a conocer es la que se puso en práctica en la mina de cobre Collahuasi, cuya planta de tratamiento de efluentes se dimensionó para tratar un caudal de 216 m³/h, aproximadamente unos 5 millones de litros por día.

La instalación utiliza una serie de tratamientos, incluyendo la sedimentación, flotación por aire disuelto, filtración de media, filtración con carbón activado, la ultrafiltración y la ósmosis inversa. La remoción de la mayor cantidad posible de sedimentos del agua es particularmente importante. De esta manera, se protege la inversión en infraestructura de la empresa mediante la prevención de incrustaciones (por el término incrustación, fouling en inglés, se denomina a todos los fenómenos relacionados con el ensuciamiento de las membranas) u otros daños en las membranas y en otro tipo de equipamiento. En el proceso de sedimentación, los sólidos suspendidos se depositan por medio de la fuerza de la gravedad. Después, la flotación por aire disuelto permite la eliminación de diversos materiales coloidales y partículas dispersas.

En esta etapa, el agua es filtrada para eliminar los sólidos que aún permanecen en ella después de la etapa de flotación. La remoción de material orgánico disuelto se completa mediante una filtración con carbón activado, seguida de ultrafiltración. Este último paso asegura la eliminación de los sólidos residuales suspendidos, coloides y materia orgánica, incluyendo bacterias y virus, antes de que el agua sea tratada por ósmosis inversa. El paso de pulido final en el proceso de tratamiento del agua lo constituye la desalinización por ósmosis inversa, mediante la cual se asegura que las sales disueltas y los metales pesados sean eliminados del agua antes de su reutilización.

10 Otras industrias que representan un verdadero reto son aquellas en las que se lleva a cabo la fundición flash de cobre, en donde el polvo producido durante la fundición flash de cobre necesita ser tratado. El polvo se recircula actualmente al horno de tipo flash, dando como resultado una acumulación de impurezas en el circuito que puede llegar a superar el límite de cantidad de impurezas en el concentrado de alimentación establecido para garantizar la

15 calidad del producto final (por ejemplo, cátodos). Tratando el polvo, las principales impurezas se purgarán del circuito, dando como resultado el procesamiento de concentrados con muchas más impurezas (concentrados complejos). Pero los efluentes producidos en el procesamiento de estos concentrados "complejos" contendrán muchas más impurezas que las que se encuentran en los concentrados actuales.

20 Las industrias en las que se realiza la fundición flash de cobre generalmente tienen una planta de tratamiento de ácido débil y una planta de tratamiento de aguas residuales, pero actualmente son incapaces de detener o reducir este aumento de impurezas. Por lo tanto, para tratar los concentrados con más impurezas, el sistema de tratamiento de aguas

25 residuales de la fábrica debe ser actualizado.

En relación con esto, en mayo de 2015, las autoridades ambientales de la Junta de Andalucía publicaron nuevos límites de efluentes para descargas, con regulaciones más estrictas para el selenio (menos de 0,1 mg/l para todos los vertidos al medio ambiente) y para el cadmio

30 (menos de 0,012 mg/l). Mientras tanto, la Directiva marco europea sobre el Agua 2000/60/EC, que es una directiva europea que compromete a los estados miembros de la Unión Europea a lograr un buen estado cualitativo y cuantitativo de todas las masas de agua, publicó un listado de sustancias prioritarias identificadas como peligrosas que deben eliminarse de las descargas antes de 2020. El mercurio, el cadmio, el plomo y sus compuestos están incluidos

35 en dicho listado. Todo esto se discutirá con el gobierno para la nueva Autorización Ambiental

Integrada (AAI).

Para cumplir con estas regulaciones y controlar los futuros aumentos de impurezas, y estar preparado para límites de descarga potencialmente más restrictivos, sin mencionar la
5 reducción de descargas al río reciclando la mayor parte de esta corriente, se pone de manifiesto la necesidad de incorporar como parte del tratamiento de aguas residuales una nueva etapa diseñada especialmente para la eliminación de selenio.

Explicación de la invención

10 El proceso fisicoquímico convencional no elimina las especies de selenio, por lo que requiere una segunda etapa para un método de tratamiento alternativo como la coprecipitación de hierro, la reducción biológica o los procesos de descarga cero de líquidos (ZLD) para lograr los objetivos de eliminación. De estas alternativas, los procesos de ZLD se consideran ideales porque reducen el líquido descargado al medio ambiente y permiten una máxima recuperación
15 del agua.

Los primeros sistemas de ZLD se basaban en procesos térmicos independientes, en donde las aguas residuales normalmente se evaporaban en un concentrador de salmuera seguido de un cristizador de salmuera o un estanque de evaporación. El agua destilada condensada
20 en los sistemas ZLD se recoge para su reutilización, mientras que los sólidos producidos se envían a un vertedero público o se recuperan como valiosos subproductos de sal.

Sin embargo, cabe mencionar que un proceso de ZLD se caracteriza generalmente por el uso intensivo de energía y su elevado coste. Los sistemas ZLD convencionales, que han tenido
25 una operación exitosa durante 40 años y todavía se están construyendo, requieren una cantidad considerable de energía y capital. Como resultado, el ZLD se ha considerado durante mucho tiempo inviable y se ha aplicado solo en casos limitados.

Por lo tanto, la presente invención tiene como objetivo proporcionar un proceso de ZLD para
30 resolver los problemas relacionados con las especies que se van a eliminar, y además, que pueda ser versátil para ser aplicable a otras industrias y ambientes.

La ósmosis inversa (OI), una tecnología basada en membranas ampliamente utilizada en la desalinización, se consideró para ser incorporada en los sistemas de ZLD para mejorar la
35 eficacia energética y económica. Sin embargo, la ósmosis inversa, aunque es mucho más

eficaz energéticamente que la evaporación térmica, solo se puede aplicar a aguas de alimentación con un rango de salinidad limitado.

5 Los inventores llevaron a cabo un ensayo piloto sobre alternativas convencionales de ZLD para tratar tanto los efluentes finales de una planta de tratamiento de aguas residuales como una planta de ácido débil, dando como resultado un proceso que fue costoso e ineficaz debido a la heterogeneidad de ambas corrientes.

10 Por el contrario, algunos procesos no térmicos mostraron resultados prometedores, lo que subraya la necesidad de tecnologías de mejora de la recuperación para el proceso industrial del cobre, es decir, en este ambiente operativo, y proporcionar una solución económicamente viable.

15 Por lo tanto, la descarga cero de líquidos de acuerdo con la invención incluye otras tecnologías tales como OI avanzada, ósmosis directa (OD), destilación con membrana, humidificación-deshumidificación y evaporadores alternativos.

El proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos objeto de la presente invención, que se ha representado en la Fig. 1 comprende las siguientes etapas:

- 20
- una primera etapa de desalinización por ósmosis inversa avanzada (alto grado de recuperación): un tratamiento de ósmosis inversa en el que se evita la precipitación de sales que limita el grado de recuperación, aplicando limpiezas periódicas en las cuales la superficie de las membranas se pone en contacto con agua más diluida en sales disueltas;
 - una segunda etapa de concentración: el rechazo de la ósmosis inversa se concentra entre la aplicación, según sea el caso, de una de las siguientes tecnologías: ósmosis vibratoria, ósmosis directa, o humidificación - deshumidificación; y
 - una tercera etapa de descarga cero de líquidos que actúa como cristizador: en las etapas previas del proceso, el efluente líquido se ha concentrado al máximo, encontrándose alrededor del punto de saturación en el que comienza a ocurrir la precipitación de las sales que están presentes mayoritariamente en el efluente líquido. La etapa de descarga cero de líquidos actúa como un cristizador, recuperando por evaporación el agua de rechazado de la etapa de concentración y produciendo una corriente de sólidos.
- 30

35 Por lo tanto, el proceso de tratamiento de ZLD de acuerdo con la invención comprende las

tres etapas asociadas anteriormente mencionadas, respectivamente, a la desalinización, concentración y evaporación-cristalización, colocadas en serie y donde el concentrado de cada etapa se introduce en la siguiente etapa.

5 La mayoría de los procesos de ZLD en el mercado consisten en un evaporador seguido de un cristizador. En los evaporadores, el volumen del efluente líquido se reduce por evaporación, obteniendo un condensado de agua. En los cristizadores, los contaminantes presentes en el efluente líquido precipitan con los sólidos. Sin embargo, los procesos de ZLD con una sola etapa de evaporación-cristalización se caracterizan por altos costos de inversión y operación.

10

El proceso de tratamiento de ZLD según la invención tiene una mayor viabilidad económica que aquellos procesos de descarga cero debido a que incluye una etapa de concentración intermedia (segunda etapa) para reducir aún más el volumen de la etapa de desalinización (la primera etapa de la ósmosis inversa avanzada) previa a la etapa de evaporación y de
15 cristalización (tercera etapa).

15

Aunque el ZLD tiene la gran promesa de reducir la contaminación del agua y aumentar el suministro de agua, su viabilidad está determinada por un equilibrio entre los beneficios asociados a ZLD, al consumo de energía, y a los costos de capital/operación. La incorporación
20 de estas tecnologías en la primera y segunda etapa del proceso de tratamiento de ZLD de la invención da como resultado la reducción del consumo de energía y de los costos asociados, y la expansión de la aplicabilidad de ZLD. La aplicación del proceso de tratamiento de la invención ha logrado las siguientes ventajas:

20

- Reducciones en un mínimo del 50 % de todos los costos

25

- Facilitar el procesamiento de concentrados complejos: el tratamiento de concentrados complejos no será posible sin un tratamiento secundario del sobreflujo de la planta de tratamiento de aguas residuales, debido al aumento de las impurezas en el efluente del agua producido por las impurezas de los concentrados complejos.

30

- Reducción de la descarga en un 99 %, y la reducción del agua dulce necesaria para el proceso en un 39 %. Actualmente, el proceso requiere 7 m³ de agua dulce por tonelada de metal de cobre producida, de los cuales, 2,6 m³ (90 m³/h) se descargan a un río local.

35

- Cumplir con los requisitos de vertido de aguas de la administración con respecto a la composición del efluente (para selenio, inferior a 0,1 mg/l y, para cadmio, inferior a 0,012 mg/l).

Se consideran dos sistemas de ósmosis avanzados para la primera etapa de desalinización en la presente invención:

- 5 - una desalinización de circuito cerrado: un sistema de ósmosis de una única etapa que opera en ciclos de producción y de purga. En los ciclos de producción, el efluente líquido se concentra a lo largo del tiempo mientras se produce el agua. Una vez que el efluente líquido concentrado ha alcanzado una salinidad predeterminada, se purga y se limpia con el mismo efluente líquido de menor concentración de sales. Con este sistema de limpieza periódica, no se les da tiempo a las sales a precipitar.
- 10 - una inversión de flujo: un sistema de ósmosis de dos o tres etapas con funcionamiento en continuo, pero alternando las diferentes etapas periódicamente entre sí: cada cierto tiempo la última etapa en la que la concentración de sales y, por tanto, el potencial de precipitación, son mayores, se van intercambiando con la primera etapa mediante un sistema de válvulas que tratan el efluente líquido de menor concentración. De
- 15 esta manera también se evita que dé tiempo a la formación de precipitados y se aumenta el grado de recuperación.

Con respecto a las tecnologías que pueden seleccionarse para llevar a cabo la segunda etapa de concentración de acuerdo con el proceso de la invención, se aplica lo siguiente:

- 20 - Ósmosis vibratoria: etapa de ósmosis que incorpora membranas vibratorias que logran recuperar agua y concentrar el rechazo de la etapa anterior con elevado contenido en sólidos y alto potencial de formación de precipitados.
- Ósmosis directa: etapa que utiliza membranas de ósmosis directa para concentrar el rechazo con un contenido de sólidos y un potencial moderado de formación
- 25 de precipitados. En la ósmosis directa, el agua pasa del rechazo de la etapa anterior a una solución de mayor salinidad debido a la diferencia de presión osmótica.
- Humidificación - deshumidificación: etapa en la que aire caliente entra en contacto con el rechazo de la etapa anterior. Durante este contacto, se concentra el rechazo al pasar agua de este al aire caliente. En la etapa de deshumidificación se enfría
- 30 el aire caliente condensando el agua descontaminada. La concentración mediante la humidificación-deshumidificación es una variante a emplear en los casos en los que exista la posibilidad de utilizar fuentes de calor residual de otro proceso o calor proveniente de energías renovables.

35 Breve descripción de los dibujos

Con el fin de comprender mejor el tema que se desvela en el presente documento y ejemplificar cómo se puede llevar a cabo en la práctica, ahora se describirá una realización solo a modo de ejemplos no limitantes, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

5 La Fig. 1 es un esquema del proceso de tratamiento de ZLD de la presente invención;
y

La Fig. 2 es una vista esquemática de un sistema para realizar el proceso de tratamiento de ZLD de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada de la invención y dibujos

10 El proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos objeto de la presente invención, que se ha representado esquemáticamente en la Fig. 1 comprende principalmente tres etapas: 1) una primera etapa de desalinización por ósmosis inversa avanzada; 2) una segunda etapa de concentración aplicando una de las tecnologías del grupo formado por ósmosis vibratoria, ósmosis directa y humidificación-deshumidificación; y 3) una tercera etapa de evaporación-
15 cristalización. Véase en la Fig. 2 un esquema general de un sistema para realizar el proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos de la invención.

1) Primera etapa de la desalinización por ósmosis inversa avanzada (alto grado de recuperación).

20 Consiste en un tratamiento de ósmosis inversa en el que se evita la precipitación de sales que limita el grado de recuperación, aplicando limpiezas periódicas en las cuales la superficie de las membranas se pone en contacto con agua más diluida en sales disueltas. Se consideran dos sistemas avanzados de ósmosis: a) Desalinización de circuito cerrado, y b) Inversión de flujo.

25

1a) Desalinización de circuito cerrado:

Consiste en un sistema de ósmosis de una sola etapa que opera en ciclos de producción y de purga. En los ciclos de producción, el efluente líquido se concentra a lo largo del tiempo mientras se produce el agua. Una vez que el efluente líquido concentrado ha alcanzado una
30 salinidad predeterminada, se purga y se limpia con el mismo efluente líquido de menor concentración de sales. Con este sistema de limpieza periódica, no se les da tiempo a las sales a precipitar.

Puede llevarse a cabo mediante una tecnología de ósmosis inversa de desalinización en
35 circuito cerrado (CCD-RO, por sus siglas en inglés) que se dirige a una alta recuperación de

permeado con un bajo consumo de energía, que se logra mediante el uso de una ósmosis inversa que funciona recirculando el agua de alimentación presurizada de vuelta al sistema de membrana mientras produce un efluente de baja salinidad. La corriente de concentrado se puede recircular hasta que se alcanza una cierta tasa de recuperación (hasta el 98 %), luego, la salmuera dentro del circuito de recirculación se desecha y se sustituye por agua de alimentación.

Se ha descubierto que una de las formas óptimas para llevar a cabo la desalinización en circuito cerrado es en los sistemas ReFlex RO de la compañía Desalitech, Inc. Los sistemas de ReFlex RO de Desalitech con la tecnología de desalinización de circuito cerrado Closed Circuit Desalination (CCD™) reducen los desechos de salmuera hasta en un 75 % y el consumo de energía hasta en un 35 % en comparación con los diseños de OI tradicionales. Un sistema ReFlex RO es un sistema de ósmosis inversa que consta de equipo comercial que incluye membranas y que presenta el diseño y la ingeniería de procesos avanzados y patentados de Desalitech.

Los productos ReFlex de Desalitech funcionan recirculando agua de alimentación presurizada hasta alcanzar el nivel de recuperación deseado. La salmuera se reemplaza con agua dulce de alimentación sin detener el flujo de alimentación o permeado presurizado. La baja presión inicial de cada secuencia CCD™ significa una presión promedio de funcionamiento más baja y menos energía de bombeo que la requerida en los sistemas de OI tradicionales. Los sistemas ReFlex RO logran la recuperación por recirculación, no con múltiples elementos de membrana y etapas en serie, y por lo tanto puede alcanzar cualquier porcentaje de recuperación deseado en una sola etapa. Se ha demostrado más del 97 %, limitado únicamente por las características incrustantes del agua de alimentación pretratada. La recuperación es ajustable en el panel de control del sistema, proporcionando una flexibilidad inigualable. El flujo cruzado suministrado por una bomba de circulación lava la membrana y los ciclos de salinidad interrumpen y reducen en gran medida las incrustaciones y la suciedad. Los tiempos de ciclo son más cortos que el tiempo de inducción para la deposición de incrustaciones y el rechazo de salmuera frecuente y completa puede detener e incluso revertir la precipitación, haciendo posibles tasas de recuperación muy altas incluso de aguas de orígenes difíciles. Las matrices cortas de membrana y el elevado flujo cruzado también permiten que los sistemas ReFlex operen a caudales promedio más altos sin exceder las especificaciones de flujo o de recuperación del fabricante de la membrana. Más de cinco años de funcionamiento continuo en instalaciones comerciales ha demostrado que los productos

ReFlex son fiables.

Esta forma de funcionamiento con membranas de ósmosis inversa de flujo cruzado es altamente eficaz y flexible como un dispositivo simple de filtración. Como cualquier dispositivo simple de filtración, estos sistemas CCD-RO presentan caudales de alimentación y de permeado iguales durante el modo de funcionamiento normal. En un punto de ajuste basado en un programa informático, el sistema elimina automáticamente todo el concentrado y luego vuelve a su modo de funcionamiento normal. La descarga es activada por el programa informático de funcionamiento del CCD-RO, basado en cualquier combinación de flujo, concentración, presión y puntos de ajuste adicionales. Durante la etapa de eliminación del concentrado, el sistema continúa alimentándose y generando permeado, mientras que el concentrado se expulsa del sistema en un barrido.

El sistema CCD-RO presenta las siguientes ventajas:

. Se reivindica que la presión promedio de alimentación de membrana resultante es más baja que la presión de funcionamiento de los sistemas de OI convencionales. Como resultado, el consumo energético se reduce hasta en un 35 % y el flujo de salmuera se reduce en un 50-75 % en comparación con un sistema de OI convencional.

. Debido a la velocidad de flujo cruzado relativamente alta y a la corta longitud del recipiente, se logra un flujo de elemento de OI más uniforme, lo que reduce las incrustaciones en la parte frontal del sistema. El volcado periódico de concentrados reduce las tendencias a la formación de incrustaciones dentro de los elementos de OI en la parte final del sistema, lo que permite al funcionamiento del sistema una mayor recuperación.

25 **1b) Inversión de flujo:**

Entre las técnicas de inversión de flujo disponibles, la desarrollada por la empresa Rotec Ltd. consiste en un sistema de desalinización por ósmosis inversa (OI) que evita la incrustación de minerales en la superficie de las membranas y de las tuberías del sistema de tratamiento de agua mediante la aplicación de la tecnología de inversión de flujo (IR), en la que la dirección del flujo de alimentación se invierte periódicamente para mitigar la formación de incrustación porque la incrustación no tiene tiempo para formarse en las superficies de las membranas antes de ser barrida por condiciones de solución de alimentación subsaturada. Esto es un sistema de ósmosis de dos o tres etapas con funcionamiento continuo pero que alterna las diferentes etapas periódicamente entre sí: de vez en cuando la última etapa en la que la concentración de sales y, por tanto, el potencial de precipitación, son mayores, se va

intercambiando con la primera etapa mediante un sistema de válvulas que tratan el efluente líquido de menor concentración. De esta forma también se evita dar tiempo a la formación de precipitados y aumenta el grado de recuperación.

5 Este proceso para la prevención de incrustaciones en las superficies de las membranas funciona cambiando periódicamente la dirección del flujo en las matrices de recipientes de presión de OI. La frecuencia de cambio está determinada por el tiempo que le lleva a una solución sobresaturada en el concentrado el crecer una población de partículas de incrustación que puede permitir el crecimiento continuo de la incrustación (denotado como
10 "Tiempo de inducción"). Al utilizar la alimentación efectivamente subsaturada para eliminar las partículas iniciales de la incrustación en el concentrado antes de que excedan un tamaño crítico, se previene la precipitación extensa. Como consecuencia, el sistema puede alcanzar mayores recuperaciones. El principio de inversión de flujo se basa en el hecho de que durante la filtración, el flujo de alimentación y el flujo de salmuera se cambian antes de que las
15 soluciones sobresaturadas puedan precipitar del concentrado sobre la membrana.

2) Etapa de concentración:

El rechazo de la ósmosis inversa se concentra aplicando, según sea el caso, una de las siguientes tecnologías: ósmosis vibratoria, ósmosis directa, y humidificación -
20 deshumidificación

2a) Ósmosis vibratoria: Etapa de ósmosis que incorpora membranas vibratorias que logran recuperar agua y concentrar el rechazo de la etapa anterior con alto contenido en sólidos y alto potencial de formación de precipitados.

25 Entre todas las posibilidades disponibles, una forma óptima de implementar la ósmosis vibratoria según esta etapa es mediante el uso de membranas de acuerdo con la tecnología de Procesamiento mejorado con cizallamiento vibratorio (VSEP, del inglés *Vibratory Shear Enhanced Processing*) desarrollada por la empresa New Logic Research, Inc., que están
30 hechas de diversos polímeros tales como polietersulfona, poliamidas, y otros compuestos de película delgada. En los sistemas VSEP se emplean habitualmente más de 200 tipos diferentes de membranas. La vibración se aplica a las membranas para evitar la precipitación de agentes incrustantes. Al hacer eso, es posible aumentar la eficacia de recuperación. VSEP utiliza las mismas membranas poliméricas de película delgada que se encuentran en los
35 sistemas de membrana de OI en espiral, pero se desarrollan de una manera diferente. Las

membranas están unidas a discos espaciados uniformemente que se enrollan alrededor de un espaciador. Al realizar un desplazamiento de aproximadamente 54 veces por segundo, VSEP puede lograr hasta un 90 % de recuperación en una sola pasada. Al disponer los sistemas VSEP en serie, se pueden alcanzar recuperaciones mayores al 99 %. VSEP ayuda a cumplir con las directrices de vertidos, recicla el agua y mejora la economía de la mina.

Hay características y beneficios principales incorporados en VSEP. Su acción de cizallamiento vibratorio produce altos índices de filtración en separaciones que van desde pesos moleculares bajos hasta 30 micrómetros. La suspensión de alimentación en un sistema VSEP puede ser extremadamente viscosa (hasta el 70 % de sólidos) y aun así ser procesada con éxito. La forma en que funciona es simple. A medida que los elementos de la hoja de la membrana vibran vigorosamente, las ondas de cizallamiento producidas provocan que los sólidos y los líquidos se repelan y que el líquido fluya a través de los poros de la membrana sin obstáculos. La velocidad de cizallamiento en la superficie de la membrana es de aproximadamente 150.000 segundos inversos, literalmente, diez veces mayor que las tasas que se pueden obtener en los sistemas de filtración de flujo cruzado. El sistema logra una alta eficacia energética al aplicar la cizalla en una zona delgada cerca de la superficie del filtro. Además, un sistema VSEP que ocupa solo 20 pies cuadrados (1,86 metros cuadrados) de espacio de piso puede soportar hasta 1500 pies cuadrados (139,35 metros cuadrados) de área de membrana y hacer el trabajo de un sistema de 10 a 100 veces más grande. El sistema también es modular para una fácil expansión y su instalación no es más complicada que la instalación de una bomba.

2b) Ósmosis directa: Etapa que utiliza membranas de ósmosis directa (OD) para concentrar el rechazo con un contenido de sólidos y un potencial de formación de precipitado moderado. En la ósmosis directa, el agua pasa del rechazo de la etapa anterior a una solución de mayor salinidad debido a la diferencia en la presión osmótica.

Para la implementación de ósmosis directa de la segunda etapa se ha considerado la tecnología de desalinización por ósmosis directa desarrollada por la empresa Porifera, Inc. (llamada PFO de ahora en adelante), que utiliza una membrana de nanotubos de carbono. Los altos caudales a los que fluyen el agua y los gases a través de los nanotubos de carbono facilitan la desalinización a altos caudales. Esto permite que los sistemas de tratamiento de agua sean poco contaminantes y eficientes energéticamente.

35

Esta tecnología de Porifera, Inc., basada en la incorporación de membranas hechas de nanotubos de carbono, presenta la posibilidad de desalinizar el agua a altos flujos mediante el uso de un sistema de OD (tres veces mayor). En esta línea, se propone un sistema combinado compuesto por una OD para purificar el agua y una OI para recuperar la solución de drenaje y el agua para su reutilización. Además, hay un formato de placa y marco (PM) que tiene la ventaja de un camino corto en el lado de la solución de permeado/drenaje de la membrana, lo que mejora la eficacia hidrodinámica y tiene el potencial de reducir la polarización de la concentración. Cuando se aplica a los sistemas de OD, se utiliza un canal de alimentación más estrecho, y esto proporciona una buena densidad de empaquetamiento. Sin embargo, la anchura del canal debe seleccionarse cuidadosamente para garantizar que no haya una caída de presión excesiva a la velocidad de flujo cruzado empleada para la longitud de canal requerida.

El reciclador PFO es un proceso combinado de OD y de OI que utiliza productos de OI de plataformas configuradas en un diseño fácil de operar diseñado específicamente para maximizar la eficacia de los elementos y sistemas de OD patentados por Porifera Inc. El concentrador de PFO es un proceso modificado de OD y OI que utiliza ciertos aspectos de la combinación de etapas de OD y múltiples OI para lograr concentraciones de salinidad más altas utilizando menos energía que los procesos térmicos. La membrana y los elementos de Porifera Inc. proporcionan un flujo y rechazo óptimos en el mercado. La combinación de la mejor membrana y el mejor elemento proporciona el sistema basado en OD de huella más pequeña, CAPEX más bajo y OPEX más bajo.

El formato de placa y marco (PM) tiene la ventaja de un corto recorrido en el lado de la solución de permeado/drenaje de la membrana, lo que mejora la eficacia hidrodinámica y tiene el potencial de reducir la polarización de la concentración. Cuando se utiliza en membranas, la separación de la placa es bastante amplia para garantizar que los canales de alimentación no se obstruyan. En OD, se utiliza un canal de alimentación más estrecho, y esto proporciona una buena densidad de empaquetamiento. Sin embargo, la anchura del canal debe seleccionarse cuidadosamente para garantizar que no haya una caída de presión excesiva a la velocidad de flujo cruzado empleada para la longitud de canal requerida.

Porifera Inc. utiliza un sistema de bloques de construcción compuesto por varios módulos de PFO y los módulos de PFO están hechos por varios elementos de PFO apilados. Los tamaños de los elementos utilizados son relativamente pequeños con un producto comercial típico que

tiene un área de membrana de 7 m². Se utilizan diferentes opciones de espaciador dependiendo de la aplicación. Se reivindica que los productos pueden operar en el intervalo de flujo competitivo clave de alrededor de 30 l/mh o más con una pérdida de baja presión en todo el módulo. El módulo PFO tiene una importante flexibilidad y versatilidad de la disposición de flujo de alimentación y de drenaje, con la posibilidad de configurar los elementos en la pila para esquemas de flujo en serie, en paralelo y cónico. En serie, la velocidad de flujo cruzado se puede aumentar, mientras que si hay un cambio de concentración significativo en una sola pasada, el flujo se puede configurar en paralelo. Dependiendo de los diferentes requisitos del flujo de alimentación y del de drenaje, se pueden ajustar las opciones de en serie y en paralelo para que se adecúen. Debido a la corta trayectoria y al flujo cruzado relativamente alto de los elementos de PFO, se utilizan diseños concurrentes en los sistemas más simples, aunque se podría utilizar un flujo a contracorriente más eficaz para los sistemas más grandes. Finalmente, una opción cónica está disponible si se requiere un alto grado de conversión en una sola pasada.

15

Un proceso basado en la OD proporciona muchos beneficios al tratar flujos residuales desafiantes. Estos beneficios incluyen una alta resistencia a la formación de incrustaciones para la mayoría de los constituyentes particulados, orgánicos, y otros constituyentes que a menudo conducen a una rápida incrustación y tiempo de inactividad para otras tecnologías de membrana (por ejemplo, MF, UF, NF, y OI) y tecnologías térmicas.

20

Por otro lado, también se considera otra tecnología para la ósmosis directa de la segunda etapa, a saber, una tecnología desarrollada por Oasys Water, Inc., una empresa estadounidense de tecnología del agua.

25

Oasys Water, Inc. ha desarrollado la familia de productos ClearFlo y reivindica que se puede aplicar para tratar aguas residuales industriales que contienen hasta 5 veces la salinidad del agua de mar. La familia de ClearFlo de soluciones de transformación de agua (Water Transformation Solutions) incluye tres componentes principales: sus membranas de ósmosis directa patentadas, una solución de drenaje única junto con un sistema de recuperación de la solución de drenaje.

30

El concentrador de salmuera ClearFlo (MBC™) incorpora los elementos de membrana de OD, la solución de drenaje patentada, así como el sistema de recuperación. Oasys Water, Inc. ha desarrollado un sistema de ósmosis directa que utiliza una solución de drenaje especialmente

35

formulada que fuerza el agua dulce a través de la membrana. El agua de alimentación entra al sistema en un lado del módulo de membrana a medida que la solución de drenaje fluye desde el otro extremo en dirección opuesta. El gradiente de concentración formado lleva el agua a través de la membrana semipermeable diluyendo la solución de drenaje. La solución de drenaje diluida se regenera mediante un proceso de recuperación térmica. En el sistema de recuperación térmica, la solución de drenaje diluida se recupera calentando la solución para evaporar los solutos de drenaje, dejando atrás el agua purificada.

El sistema MBC™, basado en la ósmosis forzada (es decir, la ósmosis directa), puede reducir los volúmenes de eliminación en más del 80 %, lo que a su vez reduce el coste total del tratamiento de agua hasta en un 30 %. También puede tratar aguas salinas con un contenido de sal del 5 al 15 % y genera un producto de reutilización de la calidad del agua potable junto con un volumen reducido de salmuera para su eliminación. Puede lograr hasta un 85 % de recuperación de agua y descargar salmuera con hasta un 25 % de concentración de sal.

La tecnología puede utilizar fuentes de energía renovables como la solar térmica, la geotérmica y el calor de cogeneración industrial. Como resultado de este nivel sin precedentes de concentración de salmuera en un sistema basado en membrana, el sistema de descarga cero de líquidos (ZLD) ClearFlo Complete puede funcionar con un cristalizador de menor capacidad, que requiere menos entradas de energía térmica y eléctrica y menor coste total. Oasys Water Inc. ofrece el sistema ClearFlo Complete como una solución integral en asociación con los principales proveedores de cristalizadores y una red de EPC y operadores de sistemas líderes. Para flujos de aguas residuales complejas a partir de 300 m³/día a > 10.000 m³/día, el sistema ClearFlo Complete proporciona una vía para el ZLD con un menor coste, una operación más fiable, y una mayor flexibilidad de funcionamiento cuando se compara con otras tecnologías.

Lo que sigue es la descripción del sistema MBC™ desarrollado por Oasys Water, Inc. El flujo de alimentación pretratado se bombea al tanque de alimentación del sistema MBC™. Desde el tanque de alimentación del sistema, el bisulfito de sodio y el antiincrustante se dosifican en línea para la desoxidación y el control de la incrustación, respectivamente, ya que el flujo se bombea a la matriz de membrana de OD.

El agua de alimentación y la solución de drenaje concentrada (SDC) fluyen a contracorriente a través de los módulos de OD separados por la membrana de OD de alto rendimiento de

Oasys. El agua se difunde a través de la membrana, diluyendo la solución de drenaje mientras que simultáneamente se concentra más del 99 % de los sólidos disueltos del agua de alimentación en la salmuera concentrada.

5 La solución de drenaje diluida (SDD) sale de la matriz de OD y se bombea hacia la columna de recuperación de drenaje, donde los solutos de drenaje se eliminan de la solución junto con un poco de vapor de agua. La salmuera concentrada que sale de la matriz de membrana de OD se bombea a la columna de salmuera, donde también se recuperan los solutos de drenaje que se permean inversamente en la salmuera y luego se envían a la columna de recuperación
10 de drenaje. El flujo de gas mezclado fluye hacia la parte superior de la columna de recuperación de drenaje, donde se comprime y se condensa completamente en un intercambiador de calor. Los sistemas de recalentado de la columna de recuperación de drenaje y de salmuera utilizan vapor suministrado por el cliente como fuente de energía. El intercambiador de calor del condensador utiliza agua de refrigeración suministrada por el
15 cliente como un disipador de calor.

El agua del producto intermediario se recoge en la parte inferior de la columna de recuperación de drenaje y se pasa a través del sistema de lavado por OI. Este paso reduce los SDT del agua del producto a menos de 500 mg/l y asegura la recuperación de los solutos de drenaje
20 no volatilizados restantes. El concentrado del sistema de OI se dirige al tanque de alimentación del sistema MBC. El permeado de alta calidad y bajo en SDT del sistema de OI se puede reutilizar en las operaciones del sitio o se puede verter de manera segura. El sistema de recuperación de la solución de drenaje de MBC integra la columna de recuperación de drenaje, la columna de salmuera y el lavado por OI para mantener prácticamente el 100 %
25 de los solutos de drenaje dentro del sistema y maximizar la eficacia energética.

2c) Humidificación - deshumidificación: Etapa en la que el aire caliente entra en contacto con el rechazo de la etapa anterior. Durante este contacto, el rechazo se concentra cuando el agua pasa de él al aire caliente. En la etapa de deshumidificación el aire caliente se enfría
30 condensando el agua descontaminada. La concentración a través de la humidificación-deshumidificación es una variante que se utiliza en los casos en que existe la posibilidad de utilizar fuentes de calor residual de otro proceso o calor de energías renovables.

La empresa Gradiant Corporation ofrece una forma inteligente de implementar las etapas de
35 humidificación-deshumidificación, combinando la tecnología de extracción de gas portador

(Carrier Gas Extraction) (CGE™) con el proceso de extracción química selectiva (Selective Chemical Extraction) (SCE™) en un proceso continuo de desalinización por humidificación - deshumidificación a presión atmosférica y a temperatura ambiente para evaporar agua controlando los efectos de coprecipitación. El aire se recircula a través de un humidificador y un deshumidificador de columna de burbujas de múltiples etapas en un circuito cerrado. Cuando el agua de alimentación salina entra en la unidad, se precalienta en el deshumidificador antes de calentarse a 10-15 °C adicionales mediante una caldera de gas natural. Parte del agua de alimentación se evapora cuando se pulveriza sobre un lecho empacado. El aire saturado de agua se bombea a través de pequeños orificios en una serie de bandejas poco profundas llenas de agua en el deshumidificador. A medida que las burbujas de agua pasan a través del agua dulce en las bandejas, se une al agua por la que está pasando, creando más agua dulce. Mientras tanto, la parte no evaporada del flujo de alimentación se elimina como salmuera saturada. Esta llamada "columna de burbujas" permite la condensación de vapor de agua sin necesidad de costosos intercambiadores de calor de metal.

La extracción química selectiva (SCE, por sus siglas en inglés) es un conjunto patentado de tecnologías de tratamiento que son mejoras rentables en las tecnologías de precipitación convencionales. Fueron diseñadas para abordar los desafíos de tratamiento planteados por los altos niveles de contaminación que se encuentran en las aguas producidas y en el flujo de retorno. La extracción química selectiva (Selective Chemical Extraction) (SCE™) es un proceso de tratamiento de múltiples etapas que se puede personalizar para cumplir con cualquier calidad de efluente, incluida la eliminación de grasa y aceite, la extracción de H₂S, la eliminación de los COV y los semivolátiles, la eliminación específica de iones y clarificación de lamelas.

La parte central de la SCE es la precipitación inducida específica de iones que utiliza planes de química patentada. Las reacciones inducidas químicamente con iones dirigidos forman componentes de baja solubilidad. Los iones divalentes (Ca, Mg, Ba, Sr, SO₄, CO₃), los iones trivalentes (Fe, Al), así como la sílice disuelta y el boro pueden eliminarse económicamente con este método. El proceso de extracción química selectiva (SCE™) se basa en efectos controlados de coprecipitación. El tratamiento previo adicional puede incluir la eliminación de grasa y aceite, la extracción de H₂S, la eliminación de los COV y los semivolátiles, la eliminación específica de iones y la clarificación de lamelas. En la actualidad, SCE™ funciona en el campo petrolero por Gradiant Corporation produciendo varios grados de salmuera limpia

a bajo coste y con la mínima interferencia del operador.

En el proceso de extracción de gas portador (Carrier Gas Extraction) (CGE™), el agua que se encuentra por debajo del punto de ebullición se evapora por contacto directo con un gas portador; el aire húmedo se burbujea posteriormente a través de agua más fría donde se condensa el vapor purificado. Pero la diferencia de temperatura entre el agua caliente y fría es mucho menor que en los deshumidificadores convencionales, y el área de superficie proporcionada por las pequeñas burbujas es mucho mayor que la de una superficie plana del condensador, lo que lleva a un proceso más eficaz. Mediante la acidificación del agua de alimentación, se inhibe la formación de incrustación de los iones formadores de incrustaciones en un dispositivo de desalinización térmica.

El proceso de extracción de gas portador (CGE) recircula el aire a través de un humidificador y un deshumidificador de columna de burbujas de múltiples etapas en un circuito cerrado. Cuando el agua de alimentación salina entra en la unidad, se precalienta en el deshumidificador antes de calentarse a 10-15 °C adicionales mediante una caldera de gas natural. Parte del agua de alimentación se evapora cuando se pulveriza sobre un lecho empacado y se condensa como destilado en el deshumidificador. Paralelamente, la parte no evaporada del flujo de alimentación se elimina como salmuera saturada y el aire ahora rehumidificado se devuelve a la columna del deshumidificador para continuar el proceso.

Entre sus ventajas, la tecnología de desalinización por CGE puede alcanzar altas recuperaciones declaradas en el intervalo del 70-85 % para el agua de alimentación salina y se afirma que es una versión rentable de las técnicas convencionales de precipitación química. La combinación de tecnologías, según Gradiant, permite que estos sistemas traten aguas con niveles más altos de contaminantes. Los sistemas de control personalizados se utilizan para optimizar el sistema para que funcione al máximo rendimiento térmico, minimizar la intervención del operador, y minimizar el consumo de compuestos químicos. Según Gradiant, varias innovaciones de diseño permiten que estos sistemas usen menos energía y traten el agua a costes más bajos que los métodos de tratamiento de la competencia. Las innovaciones de diseño incluyen evaporar el agua por debajo de las temperaturas de ebullición utilizando el gas del transportador de aire seco, incorporando una columna con microburbujas que proporciona un condensador de contacto directo que optimiza las superficies de condensación, lo que resulta en una transferencia de calor más eficaz y minimiza el hardware, utilizando diferencias de temperatura más bajas entre el agua caliente

y fría que en un sistema de deshumidificación convencional, y el uso de materiales económicos en el intercambiador de calor. Por requerimientos del cliente, las tecnologías pueden producir agua de características específicas que van desde 50 ppm de SDT (sólidos disueltos totales) hasta 260.000 ppm de SDT.

5

3) Etapa de descarga cero de líquidos - Evapo- cristalizador:

En las etapas anteriores del proceso, el efluente líquido se ha concentrado al máximo, encontrándose alrededor del punto de saturación en el que comienza a ocurrir la precipitación de las sales que están presentes principalmente en el efluente líquido. La etapa de descarga
10 cero de líquidos actúa como un cristalizador, recuperando el agua rechazada de la etapa de concentración por evaporación y produciendo un flujo de sólidos.

Esta parte del sistema comprende evaporadores seguidos de cristalizadores. En los evaporadores, el volumen del efluente líquido se reduce por evaporación, obteniendo un
15 condensado de agua. En los cristalizadores, los contaminantes presentes en el efluente líquido precipitan con los sólidos. Los ejemplos de evaporadores que se pueden usar son los ofrecidos por las compañías GE Power & Water, Evatherm e Inerco.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria que incluye al menos las siguientes etapas:
- 5 a) una primera etapa de desalinización que evita la precipitación de sales por medio de un tratamiento por ósmosis inversa avanzada de alto grado de recuperación, en la que se realizan varias limpiezas periódicas poniendo en contacto la superficie de algunas membranas con agua con menor contenido en sales disueltas que las aguas residuales a tratar;
- 10 b) una segunda etapa de concentración, en la que se concentra el rechazo de la primera etapa producido en ósmosis inversa aplicando una de las tecnologías del grupo formado por ósmosis vibratoria, ósmosis directa y humidificación-deshumidificación;
- c) una etapa de descarga cero de líquidos que actúa como cristizador o un evapo-cristizador, en el que el efluente líquido que se ha concentrado al máximo en las etapas
- 15 anteriores está alrededor del punto de saturación en el que comienza a ocurrir la precipitación de las sales que están presentes mayoritariamente en el efluente líquido, actuando la etapa de cero de descarga de líquidos como un cristizador, recuperando por evaporación el agua de rechazo de la etapa de concentración y produciendo una corriente de sólidos.
- 20
2. El proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos según la reivindicación 1, caracterizado por que la ósmosis inversa avanzada de la primera etapa a) de desalinización se lleva a cabo mediante una desalinización de circuito cerrado que consiste en una ósmosis de una única etapa que opera en ciclos de producción y de purga, en donde en los ciclos de
- 25 producción, el efluente líquido se concentra a lo largo del tiempo mientras que se produce agua y una vez que el efluente líquido concentrado ha alcanzado una salinidad predeterminada, se purga y se limpia con el mismo efluente líquido de menor concentración de sales que la concentración anterior, sin permitir que precipiten las sales.
- 30
3. El proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos según la reivindicación 1, caracterizado por que la ósmosis inversa avanzada de la primera etapa a) de desalinización se lleva a cabo mediante una inversión de flujo que consiste en un sistema de ósmosis de dos o tres etapas con funcionamiento en continuo, pero alternando las diferentes etapas periódicamente entre sí, en donde cada cierto tiempo la última etapa en la que la
- 35 concentración de sales y por lo tanto el potencial de precipitación son mayores, se va

intercambiando con la primera etapa mediante un sistema de válvulas que tratan el efluente líquido de menor concentración.

4. El proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos según la reivindicación 1, caracterizado por que la segunda etapa b) consiste en una etapa de ósmosis vibratoria que incorpora membranas vibratorias que logran recuperar el agua y concentrar el rechazo de la etapa anterior con elevado contenido en sólidos y alto potencial de formación de precipitados.

5. El proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos según la reivindicación 1, caracterizado por que la segunda etapa b) se lleva a cabo por medio de una ósmosis directa que comprende el uso de membranas de ósmosis directa para concentrar el rechazo con un contenido de sólidos y potencial de formación de precipitados moderado, en donde el agua pasa del rechazo de la etapa anterior a una solución de mayor salinidad debido a la diferencia de presión osmótica.

15

6. El proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos según la reivindicación 1, caracterizado por que la segunda etapa b) se lleva a cabo mediante humidificación-deshumidificación, en donde aire caliente se pone en contacto con el rechazo de la etapa anterior y durante este contacto, el rechazo se concentra al pasar el agua de este al aire caliente, enfriándose el aire caliente en la etapa de deshumidificación condensando el agua descontaminada.

20

7. El proceso de tratamiento de descarga cero de líquidos para el tratamiento de aguas residuales en donde dichas aguas residuales provienen de la minería o de la industria del acero.

25

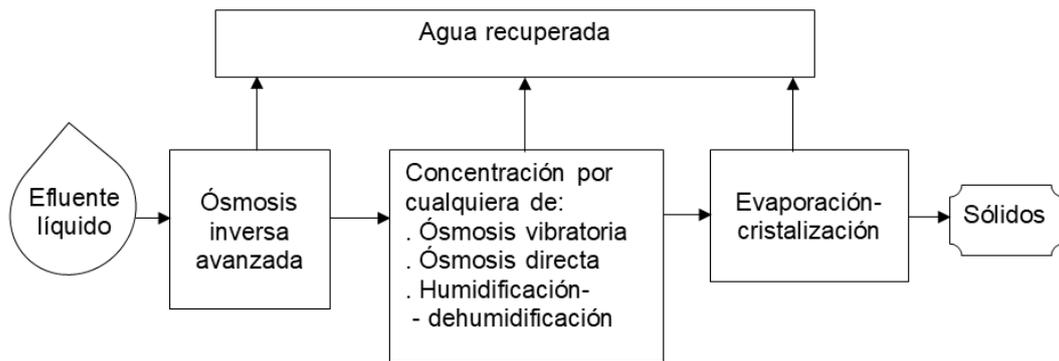


Fig. 1

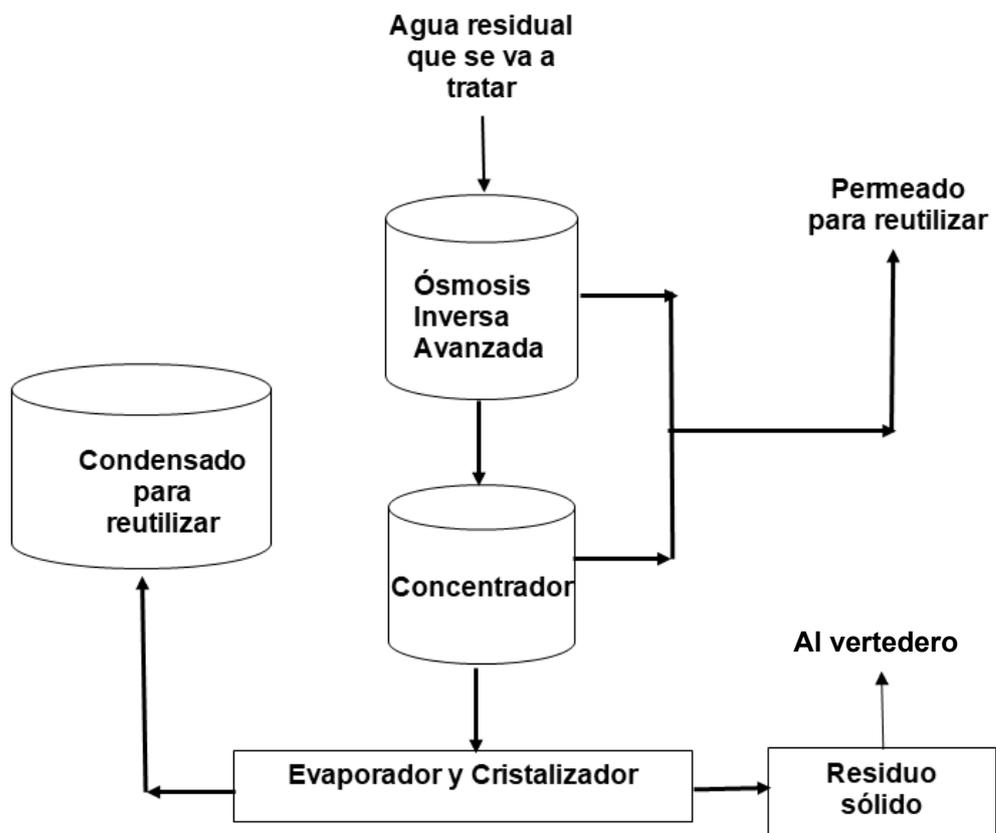


Fig. 2