

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 779 982**

21 Número de solicitud: 201930141

51 Int. Cl.:

**C02F 1/44** (2006.01)

**B01D 61/02** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**20.02.2019**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**21.08.2020**

Fecha de concesión:

**22.12.2020**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**04.01.2021**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.0%)  
Pabellón de Brasil - Pº de las Delicias, s/n  
41013 Sevilla (Sevilla) ES**

72 Inventor/es:

**VILCHES ARENAS, Luis Francisco;  
ARROYO TORRALVO, Fátima;  
FERNÁNDEZ PEREIRA, Constantino y  
RODRÍGUEZ GALAN, Mónica**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO PARA LA CONCENTRACIÓN DE SOLUCIONES SALINAS ACUOSAS CON RECUPERACIÓN DE AGUA**

57 Resumen:

La presente invención se engloba en el campo de las tecnologías química y medioambiental, y se refiere a un sistema y a un método de alta eficiencia energética para la concentración de soluciones salinas (que pueden ser denominadas de forma genérica como salmueras) y/o la recuperación del agua contenida en las mismas. Estas salmueras pueden generarse en numerosos sectores industriales, tales como: plantas desaladoras, plantas asociadas a las perforaciones para la extracción de gas y petróleo, plantas de generación de energía, plantas de curtidos de pieles, plantas de elaboración de conservas de alimentos, de aderezos de aceitunas, de salazones, almazaras, de curado de jamones y embutidos, así como todas aquellas que tratan elevados volúmenes de agua (descalcificación, desmineralización, ósmosis inversa, etc.).

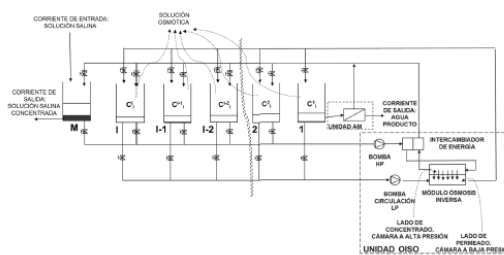


Fig. 1

ES 2 779 982 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

**DESCRIPCION**

**SISTEMA Y MÉTODO PARA LA CONCENTRACIÓN DE SOLUCIONES SALINAS  
ACUOSAS CON RECUPERACIÓN DE AGUA**

5

**OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención se engloba en el campo de las tecnologías química y medioambiental, y se refiere a un sistema y a un método de alta eficiencia energética para la concentración de soluciones salinas (que pueden ser denominadas de forma genérica como salmueras) y/o la recuperación del agua contenida en las mismas. Estas salmueras pueden generarse en numerosos sectores industriales, tales como: plantas desaladoras, plantas asociadas a las perforaciones para la extracción de gas y petróleo, plantas de generación de energía, plantas de curtidos de pieles, plantas de elaboración de conservas de alimentos, de aderezos de aceitunas , de salazones, almazaras , de curado de jamones y embutidos, así como todas aquellas que tratan elevados volúmenes de agua (descalcificación, desmineralización, ósmosis inversa, etc.).

20

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

La escasez de agua dulce es uno de los desafíos mundiales actuales más importantes y representa una amenaza para el crecimiento, la seguridad y el equilibrio de las naciones y los ecosistemas. El suministro de agua potable en muchos territorios se está complicando aún más con el cambio climático. Un tipo de corriente acuosa que se produce en una amplia variedad de procesos, son las corrientes con una elevada salinidad (genéricamente denominadas como salmueras), que, en la mayoría de los casos, no puede ser vertida directamente al medio receptor. Para la gestión de estas corrientes no es siempre fácil encontrar una vía de gestión competitiva, existiendo diferentes alternativas, tales como la inyección profunda, las lagunas de evaporación, la obtención de productos valorizables y el tratamiento de la salmuera mediante un sistema de vertido cero (ZLD, términos en inglés de "Zero Liquid Discharge"). De entre todas las opciones anteriores, destaca esta última, por su versatilidad, y por ser la más respetuosa con el medio ambiente, ya que prácticamente no produce vertido alguno. Esta tecnología genera por un lado un efluente de agua de elevada calidad que puede ser reutilizada en el proceso productivo, y por otro se obtiene un producto salino cristalizado que puede ser valorizado.

En los últimos años, se ha producido una evolución en los sistemas de ZLD, de aquellos basados en procesos térmicos a procesos basados en membranas, siendo la ósmosis inversa (RO), una de las tecnologías que se ha incorporado a los sistemas de ZLD para mejorar la eficiencia energética y reducir costes. Sin embargo, aunque la RO es más eficiente que la evaporación térmica, sólo puede aplicarse a unas aguas de alimentación con un rango de salinidad limitado. Por consiguiente, otras tecnologías emergentes de concentración de salmueras para tratar corrientes de mayor salinidad, tales como la electrodiálisis (ED), la ósmosis directa (FO), la destilación con membranas (MD) y la ósmosis inversa asistida osmóticamente (OIAO) se están incorporando como tecnologías alternativas en los sistemas de ZLD para concentrar las salmueras.

La electrodiálisis aplica un potencial eléctrico como fuerza motriz para eliminar los iones disueltos a través de membranas de intercambio iónico. En contraste con las membranas de RO que rechazan todos los iones, las membranas de intercambio iónico rechazan selectivamente cationes o aniones. En una variante de la ED, la electrodiálisis reversible (EDR), la polaridad de los electrodos se invierte con frecuencia para minimizar el ensuciamiento, por lo que se requieren menos pretratamientos que con la RO. Los problemas de los procesos ED/EDR en los sistemas de tratamiento de salmueras, son debidos al elevado consumo de energía. Además, se hace necesario emplear una configuración multietapa, lo que aumenta el coste de capital.

En la destilación con membranas, el agua de alimentación se calienta y la diferencia de temperaturas entre el agua de alimentación caliente (típicamente 60-90°C) y el agua del lado de permeado más fría, crea una diferencia de fugacidades del vapor que impulsa el flujo de vapor de agua. En el tratamiento de las salmueras, la MD puede ser interesante debido a su capacidad para tratar aguas de alimentación de alta salinidad que no pueden ser tratadas por RO. Además, la MD puede aprovechar energía térmica de baja exergía. Cuando esta energía de baja exergía está disponible, las técnicas de MD pueden reducir la huella de carbono en relación con las tecnologías impulsadas con la electricidad. Además, la MD es modular y opera a baja presión y baja temperatura, y tiene una reducida propensión al ensuciamiento. Sin embargo, cuando hay contaminantes volátiles en el agua de alimentación, las membranas de MD no retienen los compuestos volátiles, con el consiguiente deterioro de la calidad del agua producto y reducción de la eficacia del proceso.

La Ósmosis Directa utiliza una diferencia de potenciales químicos (presiones osmóticas) como fuerza impulsora para permear el agua a través de una membrana semipermeable.

En ósmosis directa, el agua fluye desde la solución de alimentación a una solución de extracción concentrada (solución de arrastre) de mayor presión osmótica. El desarrollo de soluciones termolíticas como las soluciones de amonio-dióxido de carbono ( $\text{NH}_3/\text{CO}_2$ ), ha permitido la incorporación de la FO a los sistemas de ZLD. Debido a que la solución de extracción de  $\text{NH}_3/\text{CO}_2$  se descompone a una temperatura moderada (aproximadamente a una temperatura de 60 °C y presión atmosférica), su regeneración puede hacerse con energías de baja exergía, energías residuales de los procesos y energía geotérmica. Otra ventaja de la FO es que opera a baja presión, dando lugar a capas de ensuciamiento en las membranas que son menos compactas y más fáciles de limpiar que los ensuciamientos de las membranas de RO. En consecuencia, las incrustaciones de las membranas de FO son más reversibles que las del proceso de RO. Este hecho reduce el coste de operación para el control de incrustaciones, y extiende la aplicabilidad de la FO en los sistemas de ZLD a corrientes con alto potencial de incrustación.

La ósmosis inversa asistida osmóticamente es una variante de la RO tradicional que permite recuperar agua a partir de soluciones de alta salinidad a temperatura ambiente. La alimentación se introduce en la cámara de alta presión (del orden de 60 bar) de un módulo de RO (en general de tipo espiral o plano). En el lado contrario (cámara de baja presión), fluye a contracorriente una corriente con una salinidad menor que la alimentación, pero no despreciable, como ocurre a la corriente de permeado en la RO convencional. A esta corriente se le puede llamar en castellano solución de barrido. Entre las soluciones de alimentación y de barrido se establece una diferencia de presión hidráulica que, cuando es mayor que la diferencia de presión osmótica que hay entre las dos caras de la capa activa de la membrana, provoca un flujo de agua desde la alimentación hacia el barrido. La pérdida de agua de la corriente de alimentación provoca una dilución de la corriente de barrido. En función de la concentración de soluto con la que sale la solución de barrido diluida, puede establecerse que:

- si es menor de un cierto valor (p.e.: < 10 g/L de NaCl) puede enviarse directamente a una unidad de RO convencional que opere a presión moderada, o,
- si es mayor, se trata como la nueva alimentación de una segunda unidad para lo cual se hace necesaria otra presurización en una segunda unidad de bombeo.

Por tanto, el proceso completo consiste en una serie de etapas sucesivas de RO asistida osmóticamente con una última etapa de RO convencional. El número de equipos de bombeo (más recuperadores de energía) y de unidades de membrana depende, entre otros, del grado de concentración a alcanzar y de las presiones aplicadas. El proceso de

5 ósmosis asistida osmóticamente permite operar las unidades de membrana con presiones hidráulicas del mismo orden que las empleadas en procesos de desalación convencionales (50-70 bar), lo que supone una elevada eficiencia energética. La desventaja de esta tecnología es el coste de inversión de las N unidades de bombeo, intercambiadores de energía/presión y módulos de membrana.

10 Desde el punto de vista de la viabilidad técnico-económica del proceso, las variables críticas del proceso OIAO son el área de las membranas y el número de módulos de OIAO necesarios para cada tipo de salmuera. En general, el proceso de OIAO implica elevados costes de inversión en capital debido al uso de varios módulos de membranas, bombas de alta presión e intercambiadores de energía/presión, por lo que un proceso optimizado de OIAO debería ir encaminado a conseguir un pequeño número de etapas (p.e.: entre 2 y 3 módulos). Además, si bien las limpiezas y las reposiciones de las membranas y de los módulos contribuyen a los costes de operación, el factor dominante  
15 de los costes de explotación va ligado al consumo de energía. En este proceso, los pretratamientos son esenciales para reducir el ensuciamiento de las membranas, en especial en el caso de salmueras de alta salinidad.

20 En la línea de los procesos de OIAO, en la bibliografía se encuentran patentes (US 9206061B1; WO 2016/189438A1; US 2016/O339390A1; WO 2017/078644A2); y artículos técnicos (Desalination 421, 2017, 3-11.) en los que se describe el tratamiento de corrientes acuosas salinas, usando múltiples unidades de ósmosis inversa (RO) dispuestas en serie con concentraciones salinas decrecientes y al menos una unidad de ósmosis inversa en una etapa final, en la que una parte del concentrado se recicla de nuevo al lado del permeado o de salida de esa misma unidad para proporcionar un permeado mixto. El permeado mixto se pasa posteriormente al lado del permeado de la unidad de ósmosis inversa previa. Este proceso se repite en cada una de las etapas anteriores. Esto aumenta el contenido de sal del líquido en el lado del permeado de cada etapa, reduciendo así la concentración diferencial de las membranas de ósmosis inversa.

30 El sistema y el método para la concentración de soluciones salinas acuosas con recuperación de agua de la presente invención, solventa todos los inconvenientes anteriores.

**DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

5 Un primer objeto de la presente invención se refiere a un sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua que permite recuperar agua de dichas soluciones salinas, usando al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM), mediante el que se concentra y se recupera el agua, por medio del filtrado y traspaso secuencial de cierta cantidad de agua entre una serie de depósitos que contienen soluciones osmóticas de concentraciones adecuadas. La invención propuesta permite superar el límite de  
10 concentración salina máxima impuesta a la alimentación de un sistema de ósmosis inversa (RO) convencional de concentración de salmueras, empleando un sistema económico y eficiente energéticamente.

15 El sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua comprende:

- al menos un módulo de ósmosis inversa que comprende un lado de concentrado, un lado de permeado y una pluralidad de membranas;
- al menos un primer depósito I que contiene una primera solución osmótica, donde el primer depósito I está configurado para concentrar la primera solución osmótica desde una concentración inicial  $C^i_i$  hasta una concentración final  $C^i_f$ , mayor que la concentración inicial  $C^i_i$ , debido al paso de dicha primera solución osmótica por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa;
- al menos un segundo depósito I-1 que contiene una segunda solución osmótica, donde el segundo depósito I-1 está configurado para diluir la segunda solución osmótica desde una concentración inicial  $C^{i-1}_i$  a una primera concentración final  $C^{i-1}_f$ , menor que la concentración inicial  $C^{i-1}_i$ , debido al paso de dicha segunda solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa;

30 donde el al menos un módulo de ósmosis inversa está configurado para llevar a cabo la permeación de una diferencia de masa de agua  $M_e - M_s$  correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua  $M_e$  en el primer depósito I y una masa final de agua  $M_s$  del primer depósito I debido a la concentración de la primera solución osmótica desde la concentración inicial  $C^i_i$  hasta la primera concentración final  $C^i_f$ ;  
35 donde el al menos segundo depósito I-1 está también configurado para concentrar la segunda solución osmótica desde la primera concentración final  $C^{i-1}_f$  hasta una segunda concentración final  $C^{i-1}_f'$ , mayor que la primera concentración final  $C^{i-1}_f$ ,

debido al paso de dicha segunda solución osmótica por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa, y

donde el sistema comprende además:

- 5 • al menos un tercer depósito I-2 que contiene una tercera solución osmótica, donde el tercer depósito I-2 está configurado para diluir la tercera solución osmótica desde una concentración inicial  $C^{i-2}_i$  a una primera concentración final  $C^{i-2}_f$ , menor que la concentración inicial  $C^{i-2}_i$ , debido al paso de dicha tercera solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa, y

10 donde el al menos un módulo de ósmosis inversa está también configurado para llevar a cabo la permeación de una diferencia de masa de agua  $Me'-Ms'$  correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua  $Me'$  en el segundo depósito I-1 y una masa final de agua  $Ms'$  del segundo depósito I-1 debido a la concentración de la segunda solución osmótica desde la primera concentración final  $C^{i-1}_f$  hasta una  
15 segunda concentración final  $C^{i-1}_f'$ .

El sistema comprende un dispositivo de control configurado para ajustar a unos valores deseados las diferencias de masa correspondiente a la diferencia  $Me-Ms$  entre la masa inicial de agua  $Me$  en el primer depósito I y la masa final de agua  $Ms$  del  
20 primer depósito I y a la diferencia  $Me'-Ms'$  entre la masa inicial de agua  $Me'$  en el segundo depósito I-1 y la masa final de agua  $Ms'$  del segundo depósito I-1.

Opcionalmente, el sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua comprende además:

- 25 • al menos un depósito inicial M que contiene una solución salina, donde el depósito inicial M está configurado para concentrar la solución salina desde una concentración inicial  $C^M_i$  hasta una concentración final  $C^M_f$ , mayor que la concentración inicial  $C^M_i$ , debido al paso de dicha solución salina por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa, y para traspasar al  
30 primer depósito I la diferencia  $(Me_M-Ms_M)$  entre una masa inicial  $Me_M$  del al menos un depósito inicial M y una masa final  $Ms_M$  del al menos un depósito inicial M; donde el primer depósito I está también configurado para diluir la primera solución osmótica desde la concentración inicial  $C^i_i$  a la primera concentración final  $C^i_f$ , menor que la concentración inicial  $C^i_i$ , debido al paso de dicha primera solución osmótica por el lado de permeado del al menos un  
35 módulo de ósmosis inversa. Preferentemente, el sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua comprende además una

5 bomba B configurada para presurizar la primera solución osmótica contenida en el primer depósito I o el segundo depósito I-1 en función del traspaso secuencial de agua, o de la solución salina contenida en el depósito inicial M hasta una primera presión hidráulica ( $P_f$ ) previamente a su paso por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa.

10 Opcionalmente, el al menos un módulo de ósmosis inversa está también configurado para enviar al segundo depósito, la diferencia de masa de agua  $M_e - M_s$  correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua  $M_e$  en el primer depósito I y una masa final de agua  $M_s$  del primer depósito I.

15 Opcionalmente, el al menos un módulo de ósmosis inversa está también configurado para enviar al tercer depósito la diferencia de masa de agua  $M_e' - M_s'$  correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua  $M_e'$  en el segundo depósito I-1 y una masa final de agua  $M_s'$  del segundo depósito I-1.

20 El dispositivo de control está también configurado para ajustar a unos valores deseados la diferencia de masa  $M_{eM} - M_{sM}$ , entre la masa inicial  $M_{eM}$  del al menos un depósito inicial M y la masa final  $M_{sM}$  del al menos un depósito inicial M.

Opcionalmente, el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa se encuentra dispuesto en contracorriente o isocorriente con el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa.

25 Opcionalmente, el sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua comprende además una unidad de afino AM de membranas configurada para filtrar el contenido del tercer depósito.

30 Opcionalmente, el sistema comprende al menos un cuarto depósito, de manera que el segundo depósito pasa a ser el tercer depósito y el tercer depósito pasa a ser el cuarto depósito, y así hasta el número de depósitos necesarios en función de la concentración de la salmuera de la que se quiere recuperar el agua y de la concentración del agua deseada.

35 Para proporcionar un conocimiento de la realización de la invención, se describen ciertos detalles que estarían claros para un experto en la materia. Por ello, los componentes que detallan la invención se especifican de una manera general. Por



tanto, el sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua comprende opcionalmente además:

- un conjunto de tuberías de las líneas principales, recirculaciones y purgas, así como de válvulas;
- 5       • un conjunto de instrumentos, entre los que se pueden encontrar conductivímetros, medidores de nivel y caudalímetros, no estando limitados a los mismos;
- un conjunto de elementos separadores configurados para compartimentar y separar las corrientes de entrada y salida de los depósitos con lo que se mejora
- 10       la eficacia y eficiencia del proceso;

donde el dispositivo de control controla un caudal y una presión de las bombas y el conjunto de válvulas y el conjunto de instrumentos para operar la pluralidad de membranas y el al menos un módulo de ósmosis inversa.

15       Un segundo objeto de la invención es un procedimiento de concentración de soluciones salinas acuosas con recuperación de agua llevado a cabo en el sistema anterior, donde el procedimiento comprende las siguientes etapas:

- al menos una primera etapa donde se lleva a cabo la concentración de una primera solución osmótica en el al menos un primer depósito I desde una
- 20       concentración inicial  $C^i_i$  hasta una concentración final  $C^i_f$ , mayor que la concentración inicial  $C^i_i$ , debido al paso de dicha primera solución osmótica por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa;
- al menos una segunda etapa donde se lleva a cabo la dilución de una segunda solución osmótica en el al menos un segundo depósito I-1 desde una
- 25       concentración inicial  $C^{i-1}_i$  a una primera concentración final  $C^{i-1}_f$ , menor que la concentración inicial  $C^{i-1}_i$ , debido al paso de dicha segunda solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa;
- al menos una tercera etapa donde se lleva a cabo la permeación de una diferencia de masa de agua  $M_e-M_s$  en el al menos un módulo de ósmosis
- 30       inversa, diferencia de masa de agua  $M_e-M_s$  correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua  $M_e$  en el primer depósito I y una masa final de agua  $M_s$  del primer depósito I como consecuencia de la al menos una primera etapa;
- al menos una cuarta etapa donde se lleva a cabo la concentración de la
- 35       segunda solución osmótica en el al menos un segundo depósito desde la primera concentración final  $C^{i-1}_f$  hasta una segunda concentración final  $C^{i-1}_f'$ , mayor que la primera concentración final  $C^{i-1}_f$ , debido al paso de dicha

segunda solución osmótica por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa;

- 5 • al menos una quinta etapa donde se lleva a cabo la dilución de una tercera solución osmótica en al menos un tercer depósito I-2 desde una concentración inicial  $C^{i-2}_i$  a una primera concentración final  $C^{i-2}_f$ , menor que la concentración inicial  $C^{i-2}_i$ , debido al paso de dicha tercera solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa;
- 10 • al menos una sexta etapa donde se lleva a cabo la permeación de una diferencia de masa de agua  $Me'-Ms'$  en el al menos un módulo de ósmosis inversa, diferencia de masa  $Me'-Ms'$  correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua  $Me'$  en el segundo depósito I-1 y una masa final de agua  $Ms'$  del segundo depósito I-1 , como consecuencia de la al menos cuarta etapa,

15 Opcionalmente, el procedimiento para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua comprende además:

- 20 • al menos una séptima etapa donde se lleva a cabo la concentración de una solución salina M en el depósito inicial M, desde una concentración inicial  $C^{M}_i$  hasta una concentración final  $C^{M}_f$ , mayor que la concentración inicial  $C^{M}_i$ , debido al paso de dicha solución salina por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa;
- al menos una octava etapa de trasvase a el al menos primer depósito I de la diferencia  $(Me_M-Ms_M)$  entre una masa inicial  $Me_M$  del al menos un depósito inicial M y una masa final  $Ms_M$  del al menos un depósito inicial M; y
- 25 • al menos una novena etapa donde se lleva a cabo la dilución de la primera solución osmótica en el primer depósito I, desde la concentración inicial  $C^i$  a la primera concentración final  $C^f$ , menor que la concentración inicial  $C^i$ , debido al paso de dicha primera solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa. Preferentemente, el procedimiento comprende
- 30 al menos una décima etapa donde se lleva a cabo el bombeo y la presurización en la bomba de la primera solución osmótica contenida en el primer depósito I o la solución salina contenida en el depósito inicial M hasta una primera presión hidráulica  $(Pf)$  previamente a su paso por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa.

35

Opcionalmente, el procedimiento comprende al menos una undécima etapa donde el al menos un módulo de ósmosis inversa envía al segundo depósito, la diferencia de

masa de agua Me-Ms correspondiente a la diferencia entre la masa inicial de agua Me en el primer depósito I y la masa final de agua Ms del primer depósito I.

5 Opcionalmente, el procedimiento comprende al menos una duodécima etapa donde el al menos un módulo de ósmosis inversa envía al tercer depósito, la diferencia de masa de agua Me'-Ms' correspondiente a la diferencia entre la masa inicial de agua Me' en el segundo depósito I-1 y la masa final de agua Ms' del segundo depósito I-1.

10 Durante el envío de masa desde el primer al segundo depósito o desde el segundo al tercer depósito respectivamente y así sucesivamente, el gradiente de concentraciones de soluto osmótico entre la solución de alimentación y la solución de barrido, debe mantenerse de forma que las diferencias de presiones osmóticas entre las soluciones de alimentación y de barrido ( $\pi_f - \pi_s = \Delta\pi$ ) sean inferiores a las diferencias de presiones hidráulicas ( $P_f - P_s = \Delta P$ ) aplicadas a dichas corrientes en la unidad de membranas, lo  
15 que producirá un flujo neto de masa ( $J_w^{ISO}$ ) desde el primer depósito I al segundo depósito I-1 , y de acuerdo con la siguiente expresión:

$$J_w^{ISO} = A \cdot [\Delta P - \sigma \Delta\pi] = A \cdot [(P_f - P_s) - \sigma (\pi(C_{fm}) - \pi(C_{sm}))]$$

20 dónde,  $\pi(C_{fm})$  y  $\pi(C_{sm})$  son las presiones osmóticas a las concentraciones de soluto en la capa activa de la membrana (alimentación,  $C_{fm}$  y barrido,  $C_{sm}$ ), respectivamente; A es el coeficiente de permeabilidad del agua en las membranas, en  $m^2 \cdot s/kg$ ; y  $\sigma$ : el coeficiente de reflexión ( $\sigma < 1$ ). Nótese que si  $(P_f - P_s)$  es mayor que  $\sigma[\pi(C_{fm}) - \pi(C_{sm})]$ , el flujo de agua será positivo.

25

Opcionalmente, las etapas de la primera a la sexta pueden repetirse tantas veces como sean necesarias, en función de la concentración de salmuera a tratar.

30 De esta manera, el procedimiento para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua de la presente invención permite que la pluralidad de membranas del al menos un módulo de ósmosis inversa se van sometiendo a soluciones osmóticas cada vez más diluidas, lo que provoca un cierto efecto de lavado en las mismas, mejorando el comportamiento de las membranas.

35 Opcionalmente, el procedimiento comprende además una etapa final de filtrado de afino del contenido de tercer depósito o último depósito, en función de los que fueran necesarios para los objetivos de concentración o recuperación de agua.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

5 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

10 Figura 1.- Muestra un esquema del sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua de la presente invención.

Figura 2.- Muestra un esquema del sistema y método para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua de la presente invención donde se llevan a cabo las cuatro primeras etapas del método para posteriormente llevar a cabo las etapas quinta y sexta.

Figura 3.- Muestra un esquema del sistema y método para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua de la presente invención donde se llevan a cabo la séptima y octavas etapas del método.

Figura 4.- Muestra un esquema del sistema y método para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua de la presente invención donde se lleva a cabo la etapa final del método.

Figura 5.- Muestra un esquema método para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua de la presente invención aplicado a un ejemplo para concentrar salmueras y recuperar agua de las mismas, aplicada a un sistema de ZLD de aguas residuales mediante sistemas híbridos de membranas.

## REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Un ejemplo de realización de la invención se presenta en la Fig. 5, en la que se muestra un esquema del método para concentrar salmueras con recuperación de agua, de aplicación a la recuperación de agua de la solución de arrastre utilizada en un proceso de ósmosis directa (FO). El ejemplo contempla un proceso híbrido de membranas, que se ha denominado FO+OISO, aplicado a un sistema de vertido cero de aguas residuales

industriales (ZLD) basado en tecnologías de ósmosis inversa. La aplicación de la ósmosis inversa (RO), en sistemas de ZLD está condicionada a dos limitaciones inherentes: el ensuciamiento e incrustaciones de las membranas y el nivel superior de salinidad que se puede tratar. El ensuciamiento de las membranas reduce la permeabilidad del agua y la vida útil de las membranas de RO. Este problema es particularmente significativo en los sistemas ZLD. Por ello, en los sistemas ZLD con RO es necesario un pretratamiento del agua de alimentación mediante procesos tales como: ablandamiento químico, ajuste del pH e intercambio iónico ó un proceso de membrana a baja presión, como la ultrafiltración (UF). Tras los pretratamientos y el proceso RO, la primera etapa del proceso FO+OISO consiste en la concentración del rechazo de la operación de RO (cuya composición típica de iones mayoritarios se presenta en la Tabla 1), desde una concentración S1 (por ejemplo, 32 g/l de Sólidos Totales Disueltos ,STD) a S2 (por ejemplo, 175 g/l de STD) en un módulo de FO, empleando como solución de arrastre una solución de NaCl que se diluye desde una concentración Ce (por ejemplo 200 g/l) hasta una concentración menor Cs (por ejemplo, 175 g/l) con flujos de agua a través de las membranas de FO que varían típicamente entre 5 y 15 kg/m<sup>2</sup>·h. En general, el rango de concentraciones Ce-Cs (200–175) g/l vendrá definido por el factor de concentración deseado. La solución de arrastre diluida se almacena en un tanque (de tránsito). Una vez generada una masa de Me kilogramos de la solución de arrastre diluida, se procede a su descarga y tratamiento por lotes en el sistema OISO. Por tanto, esta solución de arrastre diluida (de concentración Cs) constituye la solución salina descrita en el apartado de descripción detallada de la invención (Me), que vuelve concentrada a un tanque pulmón (vuelve una masa Ms, menor que Me) con concentración Ce (mayor que Cs, después de haberse transferido Ms-Me kilogramos de agua en la unidad de OISO).

Como ya se ha dicho, los valores de Ce y Cs pueden elegirse, sabiendo que la cifra seleccionada afectará tanto al número de etapas necesarias como al área de membrana que se requerirá para realizar la operación de OISO. Se ha de cumplir que  $Ce/Cs = Ms/Me$ ; por lo que a mayor diferencia entre Ce y Cs, Ms-Me también será mayor. En el ejemplo que se describe, en la unidad de tiempo correspondiente, por cada 11,4 kg de solución de arrastre diluida (Me de concentración Cs=175 g/l), se generarán 10,0 kg de solución de arrastre concentrada (Ms de concentración Ce=200 g/l). Por tanto, en la unidad OISO será necesario transferir  $Me - Ms = 1,4$  kg de agua.

35

Na <sup>+</sup> (mg/l)	11400
K <sup>+</sup> (mg/l)	250
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	125
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	15
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	580
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	13500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	5800

Por tanto, la primera fase del proceso OISO consiste en la regeneración de dicha solución desde Cs hasta Ce.

5 El tanque pulmón permite que la operación de FO se realice en continuo mientras que la operación de OISO se realiza por lotes. En el ciclo de operación del proceso FO+OISO el tiempo de recuperación de los 1,4 kg (“Me-Ms”) en la unidad OISO depende del flujo de agua en la unidad OISO ( $J_{W}^{OISO}$ , del orden de 1-10 kg/m<sup>2</sup>·h, y de su área de membrana,  $A_{OISO}$  en m<sup>2</sup>).

10

Si se quiere realizar el proceso de forma continua, el tiempo que tarda en recuperarse los 1,4 kg de agua en el sistema OISO debe coincidir con el tiempo en el que se transfieren dichos 1,4 kg de agua en la unidad de FO desde el rechazo de la RO ( $S_1$  en la Fig. 5) hasta la solución de arrastre, lo que dependerá del flujo por unidad de área en la unidad de FO ( $J_{W}^{FO}$  en kg/m<sup>2</sup>·h y del área de membrana de la unidad de FO  $A_{FO}$ , en m<sup>2</sup>). Con esto quiere señalarse que ambos sistemas FO y OISO podrían acoplarse en una operación continua.

15

En la segunda fase de OISO en el ejemplo de aplicación, se procede a una serie de etapas sucesivas con objeto de ir pasando secuencialmente los 1,4 kg de agua (“Me-Ms”) desde el depósito M-1 hasta el depósito 1. En todas las etapas, en la unidad de OISO el gradiente de concentraciones de soluto osmótico entre la solución de alimentación y la solución de barrido proporciona unas diferencias de presiones osmóticas entre ambas soluciones ( $\Delta\pi$ ) que serán inferiores a las diferencias de presiones hidráulicas (p.e.:  $P_f - P_s = \Delta P = 50$  bar) aplicadas a dichas corrientes en la unidad de OISO. Con los datos elegidos para este ejemplo de aplicación, el número de etapas M-1 resulta igual a 5 (tal como se muestra en la Tabla 2); pero este número puede aumentarse o reducirse variando las presiones hidráulicas y la diferencia de

20

25

presiones osmóticas que se controlan con la concentración de soluto osmótico y los caudales en cada etapa.

Tabla 2: Rangos de presiones hidráulicas y osmóticas en el proceso

	$\Delta p$ (bar)	Solución de alimentación				Solución de barrido			
		$C_i^I$ (g/l)	$\Pi_i^I$ (bar)	$C_f^I$ (g/l)	$\Pi_f^I$ (bar)	$C_f^I$ (g/l)	$\Pi_f^I$ (bar)	$C_i^I$ (g/l)	$\Pi_i^I$ (bar)
ETAPA I=5	50	175	171.0	200	204.5	150	139.8	175	171.0
ETAPA I=4	50	150	139.8	175	171.0	120	105.3	150	139.8
ETAPA I=3	50	120	105.3	150	139.8	90	74.1	120	105.3
ETAPA I=2	50	90	74.1	120	105.3	48	35.9	95	79.1
ETAPA I=1	50	48	35.9	95	79.1	9	6.1	57	43.5

- 5 En la tercera fase de OISO, el contenido del depósito 1 (Etapa I=1) de concentración inferior a 10 g/l de NaCl (en este ejemplo de aplicación 9 g/l), se filtra en una unidad de ósmosis inversa convencional operando a baja presión (unidad AM en la descripción de la invención), con objeto de obtener un agua con un contenido de sólidos totales disueltos bajo, que constituiría el agua producto recuperada. El rechazo de sales de esta última fase se recicla a uno ó a varios de los depósitos de solutos osmóticos, según el balance de sólidos de los mismos.
- 10

## REIVINDICACIONES

1. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua caracterizado porque comprende:

- 5
- al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM) que comprende un lado de concentrado, un lado de permeado y una pluralidad de membranas;
  - al menos un primer depósito (I) que contiene una primera solución osmótica, donde el primer depósito (I) está configurado para concentrar la primera solución osmótica desde una concentración inicial ( $C^i$ ) hasta una
- 10
- concentración final ( $C^f$ ), mayor que la concentración inicial ( $C^i$ ), debido al paso de dicha primera solución osmótica por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM);
- al menos un segundo depósito (I-1) que contiene una segunda solución osmótica, donde el segundo depósito (I-1) está configurado para diluir la
- 15
- segunda solución osmótica desde una concentración inicial ( $C^{i-1}$ ) a una primera concentración final ( $C^{i-1f}$ ), menor que la concentración inicial ( $C^{i-1}$ ), debido al paso de dicha segunda solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM);
- donde el al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM) está configurado para llevar a
- 20
- cabo la permeación de una diferencia de masa de agua ( $M_e - M_s$ ) correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua ( $M_e$ ) en el primer depósito (I) y una masa de salida de agua ( $M_s$ ) del primer depósito (I) debido a la concentración de la primera solución osmótica desde la concentración inicial ( $C^i$ ) hasta la primera concentración final ( $C^f$ );
- 25
- donde el al menos segundo depósito (I-1) está también configurado para concentrar la segunda solución osmótica desde la primera concentración final ( $C^{i-1f}$ ) hasta una segunda concentración final ( $C^{i-1f'}$ ), mayor que la primera concentración final ( $C^{i-1f}$ ), debido al paso de dicha segunda solución osmótica por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM), y
- 30
- donde el sistema comprende además:
- al menos un tercer depósito (I-2) que contiene una tercera solución osmótica, donde el tercer depósito (I-2) está configurado para diluir la tercera solución osmótica desde una concentración inicial ( $C^{i-2}$ ) a una primera concentración final ( $C^{i-2f}$ ), menor que la concentración inicial ( $C^{i-2}$ ), debido al paso de dicha
- 35
- tercera solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM), y



donde el al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM) está también configurado para llevar a cabo la permeación de una diferencia de masa de agua ( $Me'-Ms'$ ) correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua ( $Me'$ ) en el segundo depósito (I-1) y una masa de salida de agua ( $Ms'$ ) del segundo depósito (I-1) debido a la concentración de la segunda solución osmótica desde la primera concentración final ( $C^{i1f}$ ) hasta una segunda concentración final ( $C^{i1f}$ ).

2. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua según reivindicación 1 caracterizado porque comprende además:

- al menos un depósito inicial (M) que contiene una solución salina, donde el depósito inicial (M) está configurado para concentrar la solución salina desde una concentración inicial ( $C^{Mi}$ ) hasta una concentración final ( $C^{Mf}$ ), mayor que la concentración inicial ( $C^{Mi}$ ), debido al paso de dicha solución salina por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM) y para traspasar al primer depósito I la diferencia ( $Me_M-Ms_M$ ) entre una masa inicial  $Me_M$  del al menos un depósito inicial (M) y la masa final ( $Ms_M$ ) del al menos un depósito inicial (M);

donde el primer depósito (I) está también configurado para diluir la primera solución osmótica desde la concentración inicial ( $C^i$ ) a la primera concentración final ( $C^f$ ), menor que la concentración inicial ( $C^i$ ), debido al paso de dicha primera solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM).

3. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua según reivindicación 2 caracterizado porque comprende además una bomba (B) configurada para presurizar la primera solución osmótica contenida en el primer depósito (I) I o el segundo depósito I-1 en función del traspaso secuencial de agua, o de la solución salina contenida en el depósito inicial (M) hasta una primera presión hidráulica ( $Pf$ ) previamente a su paso por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM).

4. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque, el al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM) está también configurado para enviar al segundo depósito (I-1), la diferencia de masa de agua ( $Me-Ms$ ) correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua ( $Me$ ) en el primer depósito (I) y una masa de salida de agua ( $Ms$ ) del primer depósito (I).

5. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque, el al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM) está también configurado para enviar al tercer depósito (I-2) la diferencia de masa de agua ( $Me'-Ms'$ ) correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua ( $Me'$ ) en el segundo depósito (I-1) y una masa de salida de agua ( $Ms'$ ) del segundo depósito (I-1).
6. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM) se encuentra dispuesto en contracorriente o isocorriente con el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM).
7. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque comprende además una unidad de afino (AM) de membranas configurada para filtrar el contenido del tercer depósito (I-2).
8. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque comprende al menos un cuarto depósito, de manera que el segundo depósito (I-1) pasa a ser el tercer depósito (I-2) y el tercer depósito (I-2) pasa a ser el cuarto depósito.
9. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque comprende un dispositivo de control configurado para ajustar a unos valores deseados las diferencias de masa correspondiente a la diferencia ( $Me-Ms$ ) entre la masa inicial de agua ( $Me$ ) en el primer depósito (I) y la masa final de agua ( $Ms$ ) del primer depósito (I) y a la diferencia ( $Me'-Ms'$ ) entre la masa inicial de agua ( $Me'$ ) en el segundo depósito (I-1) y la masa final de agua ( $Ms'$ ) del segundo depósito (I-1).
10. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua según reivindicaciones 2 y 9 caracterizado porque el dispositivo de control está también configurado para ajustar a unos valores deseados la diferencia de masa ( $Me_M-Ms_M$ ) entre la masa inicial ( $Me_M$ ) del al menos un depósito inicial (M) y la masa final ( $Ms_M$ ) del al menos un depósito inicial (M).

11. Sistema para la concentración de soluciones acuosas con recuperación de agua según cualquiera de las reivindicaciones 3 y 10 caracterizado porque comprende:

- un conjunto de tuberías de las líneas principales, recirculaciones y purgas, así como de válvulas ;
- 5       • un conjunto de instrumentos, entre los que se pueden encontrar conductivímetros, medidores de nivel y caudalímetros, no estando limitados a los mismos;
- un conjunto de elementos separadores configurados para compartimentar y separar las corrientes de entrada y salida de los depósitos;
- 10       donde el dispositivo de control controla un caudal y una presión de las bombas (B) y el conjunto de válvulas y el conjunto de instrumentos para operar la pluralidad de membranas y el al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM).

12. Procedimiento de concentración de soluciones salinas acuosas con recuperación de agua llevado a cabo en el sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el procedimiento comprende las siguientes etapas:

- al menos una primera etapa donde se lleva a cabo la concentración de una primera solución osmótica en el al menos un primer depósito (I) desde una concentración inicial ( $C^i$ ) hasta una concentración final ( $C^f$ ), mayor que la concentración inicial ( $C^i$ ), debido al paso de dicha primera solución osmótica por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM);
- 20       • al menos una segunda etapa donde se lleva a cabo la dilución de una segunda solución osmótica en el al menos un segundo depósito (I-1) desde una concentración inicial ( $C^{i-1}$ ) a una primera concentración final ( $C^{i-1f}$ ), menor que la concentración inicial ( $C^{i-1}$ ), debido al paso de dicha segunda solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM);
- 25       • al menos una tercera etapa donde se lleva a cabo la permeación de una diferencia de masa de agua ( $M_e - M_s$ ) en el al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM), diferencia de masa de agua ( $M_e - M_s$ ) correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua ( $M_e$ ) en el primer depósito (I) y una masa de salida de agua ( $M_s$ ) del primer depósito (I) como consecuencia de la al menos una primera etapa;
- 30       • al menos una cuarta etapa donde se lleva a cabo la concentración de la segunda solución osmótica en el al menos un segundo depósito (i-1) desde la primera concentración final ( $C^{i-1f}$ ) hasta una segunda concentración final ( $C^{i-1'f}$ ), mayor que la primera concentración final ( $C^{i-1f}$ ), debido al paso de dicha
- 35

segunda solución osmótica por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM);

- 5 • al menos una quinta etapa donde se lleva a cabo la dilución de una tercera solución osmótica en al menos un tercer depósito (I-2) desde una concentración inicial ( $C^{i-2i}$ ) a una primera concentración final ( $C^{i-2f}$ ), menor que la concentración inicial ( $C^{i-2i}$ ), debido al paso de dicha tercera solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM);
- 10 • al menos una sexta etapa donde se lleva a cabo la permeación de una diferencia de masa de agua ( $Me'-Ms'$ ) en el al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM), diferencia de masa ( $Me'-Ms'$ ) correspondiente a la diferencia entre una masa inicial de agua ( $Me'$ ) en el segundo depósito (I-1) y una masa de salida de agua ( $Ms'$ ) del segundo depósito (I-1), como consecuencia de la al menos cuarta etapa.

15

13. Procedimiento de concentración de soluciones salinas acuosas con recuperación de agua según reivindicación 12 caracterizado porque comprende además:

- 20 • al menos una séptima etapa donde se lleva a cabo la concentración de una solución salina en el depósito inicial (M), desde una concentración inicial ( $C^Mi$ ) hasta una concentración final ( $C^Mf$ ), mayor que la concentración inicial ( $C^Mi$ ), debido al paso de dicha solución salina por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM);
- 25 • al menos una octava etapa de trasvase a el al menos primer depósito I de la diferencia ( $Me_M-Ms_M$ ) entre una masa inicial  $Me_M$  del al menos un depósito inicial M y una masa final  $Ms_M$  del al menos un depósito inicial M; y
- 30 • al menos una novena etapa donde se lleva a cabo la dilución de la primera solución osmótica en el primer depósito (I), desde la concentración inicial ( $C^i$ ) a la primera concentración final ( $C^f$ ), menor que la concentración inicial ( $C^i$ ), debido al paso de dicha primera solución osmótica por el lado de permeado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM).

14. Procedimiento de concentración de soluciones salinas acuosas con recuperación de agua según reivindicación 13 caracterizado porque comprende al menos una

35 primera solución osmótica contenida en el primer depósito (I) o la solución salina contenida en el depósito inicial (M) hasta una primera presión hidráulica ( $Pf$ )

previamente a su paso por el lado de concentrado del al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM).

5 15. Procedimiento de concentración de soluciones salinas acuosas con recuperación de agua según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14 caracterizado porque comprende al menos una undécima etapa donde el al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM) envía al segundo depósito, la diferencia de masa de agua ( $M_e - M_s$ ) correspondiente a la diferencia entre la masa inicial de agua ( $M_e$ ) en el primer depósito (I) y la masa de salida de agua ( $M_s$ ) del primer depósito (I).

10

16. Procedimiento de concentración de soluciones salinas acuosas con recuperación de agua según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15 caracterizado porque comprende al menos una duodécima etapa donde el al menos un módulo de ósmosis inversa (OIM) envía al tercer depósito, la diferencia de masa de agua ( $M_e' - M_s'$ ) correspondiente a la diferencia entre la masa inicial de agua ( $M_e'$ ) en el segundo depósito (I-1) y la masa de salida de agua ( $M_s'$ ) del segundo depósito (I-1) .

15

17. Procedimiento de concentración de soluciones salinas acuosas con recuperación de agua según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 16 caracterizado porque comprende una etapa final de filtrado de afino del contenido de tercer depósito (I-2).

20

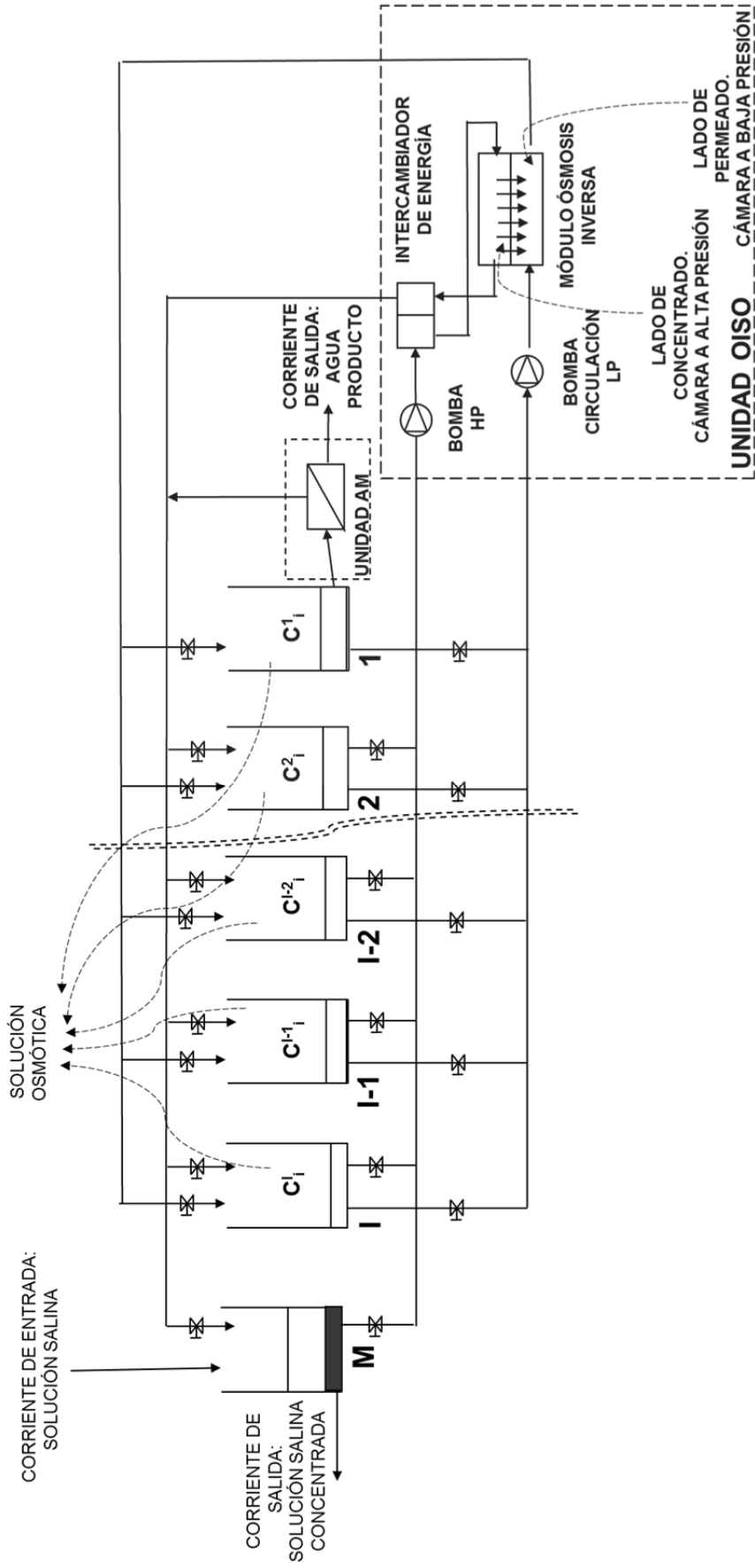


Fig. 1

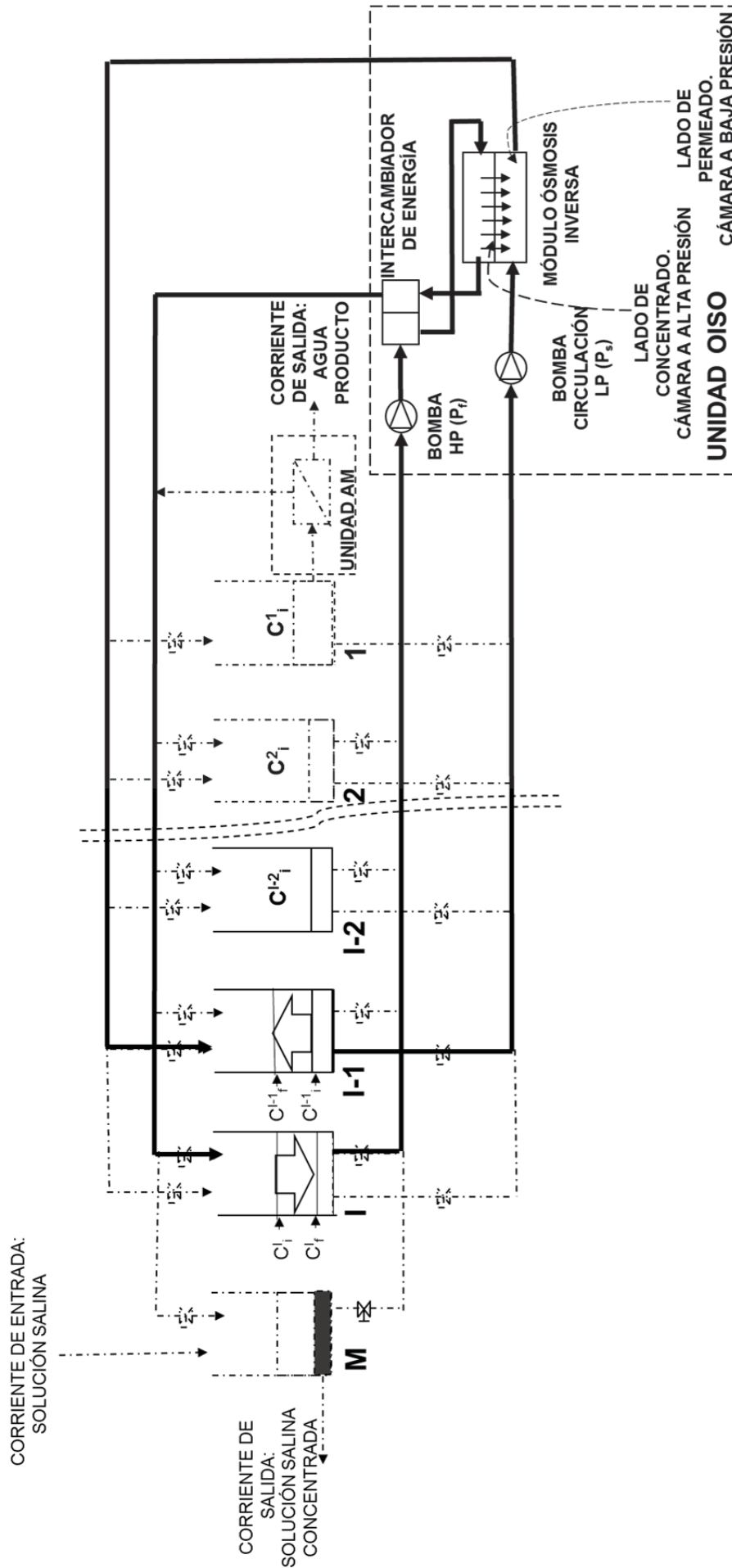


Fig. 2

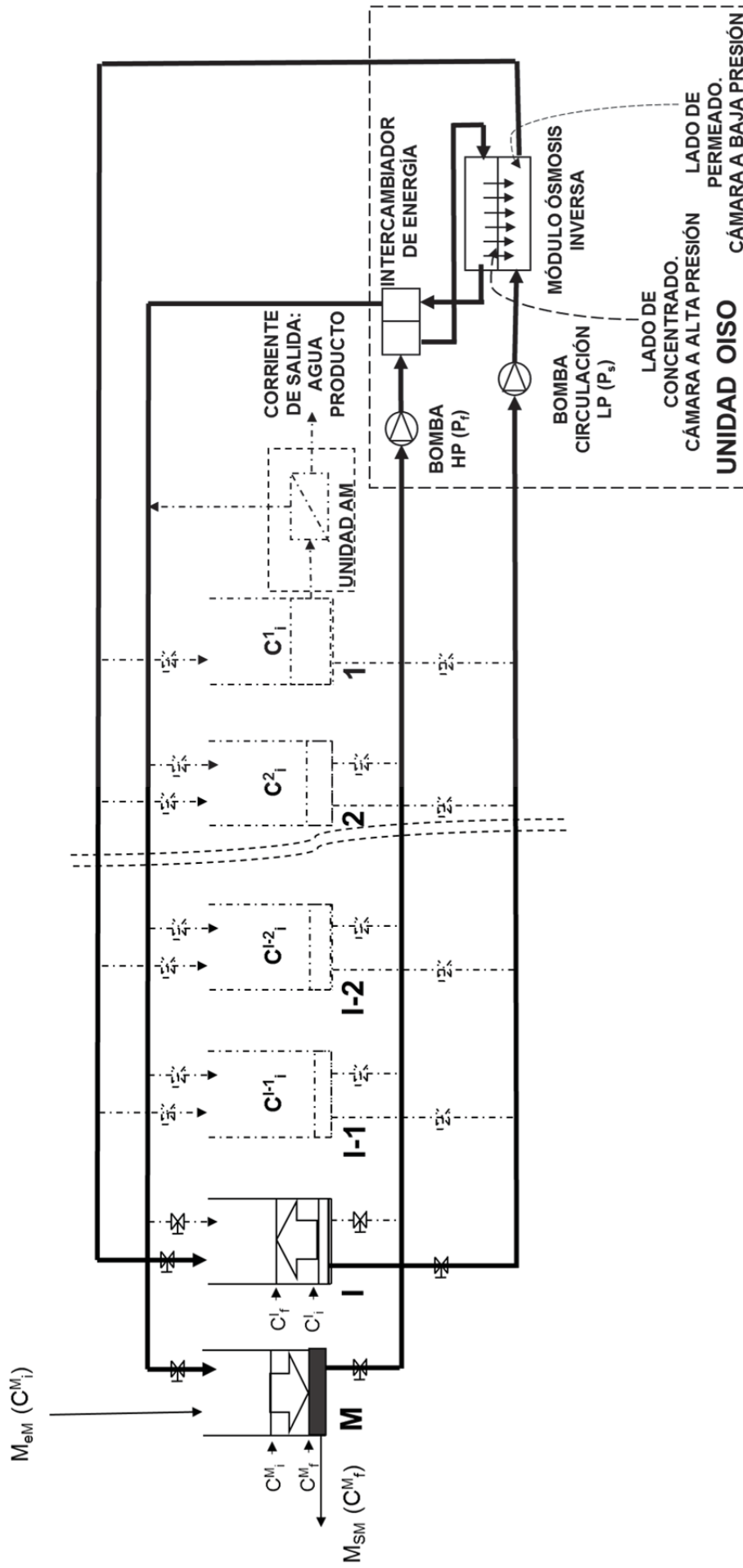


Fig. 3



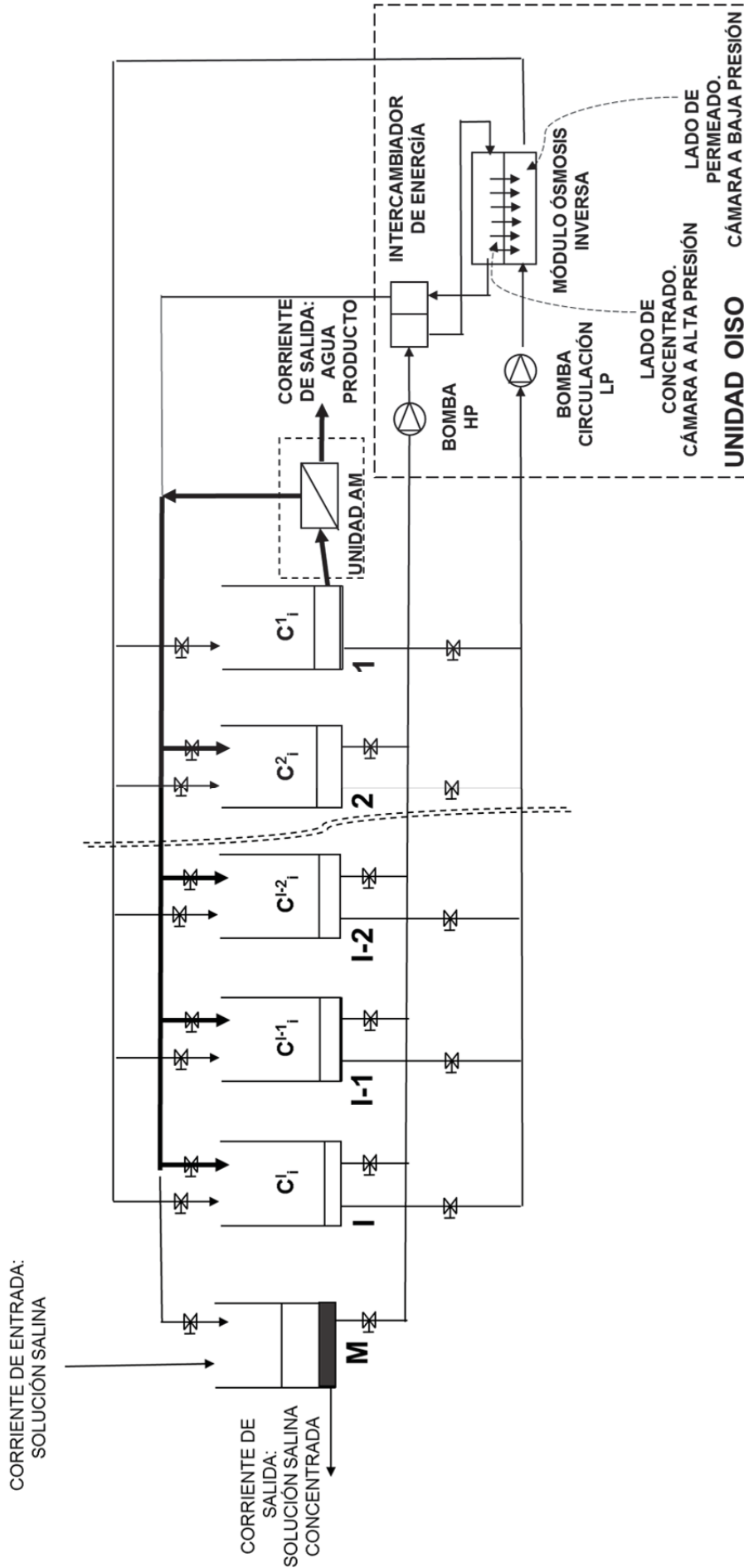


Fig. 4

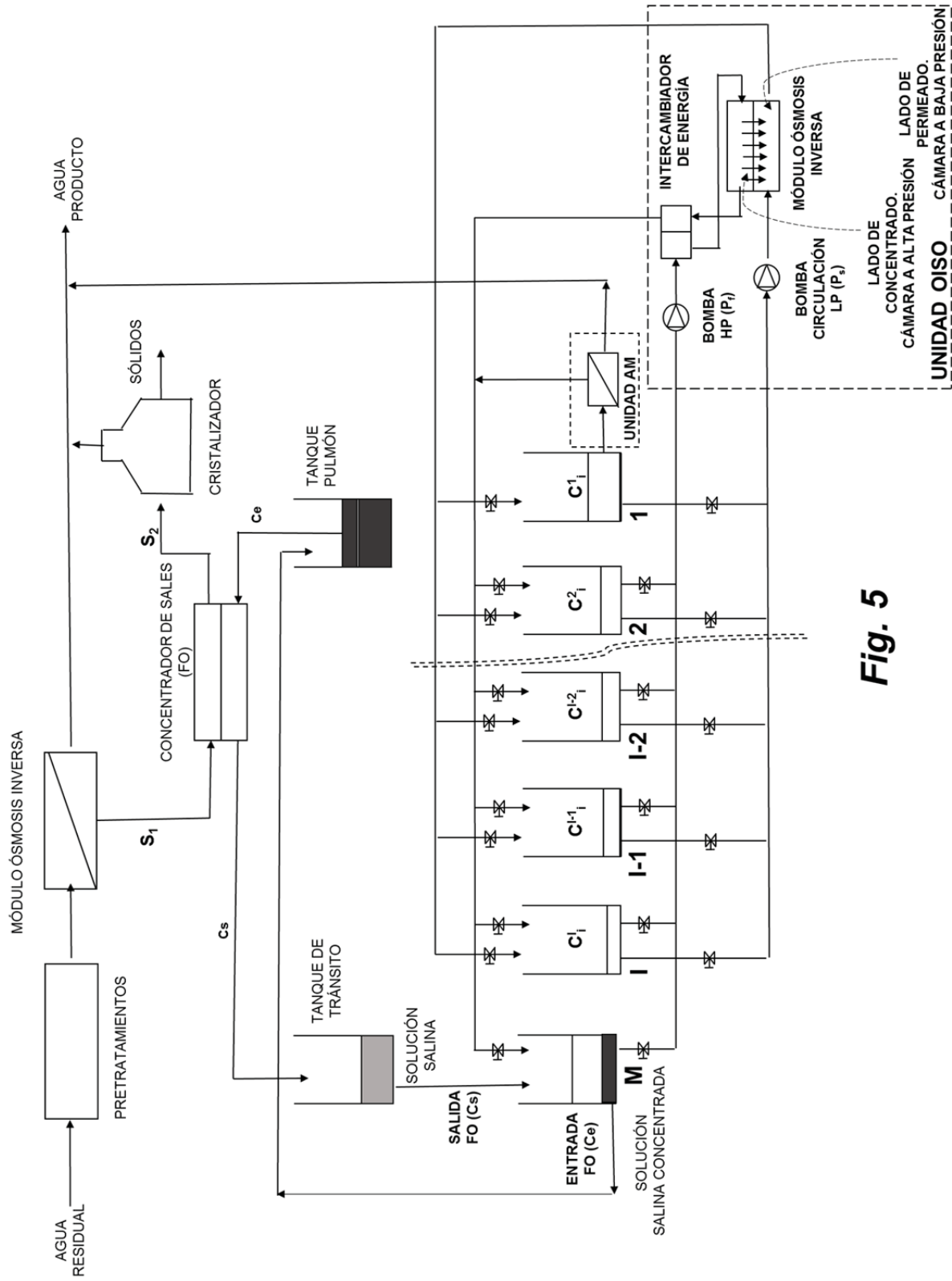


Fig. 5